

The Asymmetric Impact of Scaled Oil Price Impulses on the Environmental Load Capacity Factor (LCF) in Iran

A Multiple Asymmetric Thresholds NARDL (MATNARDL) Approach

Abolghasem Golkhandani 

1. Ph.D. in Public Sector Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Lorestan University, Khoram Abad, Iran. Email: golkhandan@gmail.com

Abstract

During the past years, researchers have been particularly interested in the asymmetric impact of oil price impulses on environmental indicators in oil-importing and oil-exporting countries. In this regard, the main purpose of this research is to investigate the asymmetric and non-linear impact of scaled oil price impulses on load capacity factor as an indicator of environmental sustainability in Iran from 1961-2022. Based on this, the estimation of the model has been performed by categorizing the positive and negative impulses of the oil price in three small scales (quantiles less than the τ_{30} threshold), medium (quantiles between the τ_{30} and τ_{70} thresholds) and large (quantiles greater than the τ_{70} threshold) in the form of Multiple Asymmetric Thresholds Non-linear Autoregressive Distributed Lag (MATNARDL) approach. The results indicate that in the long term, small-scale positive (negative) oil price impulses had a positive (negative) and significant effect on the load capacity factor; While these impulses have a negative effect on the load capacity factor in the long term in both medium and large scales. Based on this, it can be said that the effect of oil price on the load capacity factor in Iran is asymmetric. Among positive impulses, only with a small-scale increase in oil price, we can see an increase in load capacity factor and environmental sustainability in the country. Also, the positive impulses of the oil price on both medium and large scales lead to the increase of environmental instability by prioritizing economic achievements and activities over environmental issues. Based on other results, energy consumption has a negative and significant effect on the load capacity coefficient, and the environmental hypothesis of the load capacity curve (LLC) in Iran is confirmed.

Article information

Review History:

Received: Apr. 23, 2024

Revised: May. 12, 2024

Accepted: June. 02, 2024

Keywords:

Oil Price

Load Capacity Factor

Asymmetric Impact Iran

Multiple Asymmetric

Thresholds NARDL

JEL Classification:

C01, O13, Q5

Corresponding Author:

golkhandan@gmail.com



Aim and Introduction

Ecological footprint accounting is composed of two metrics, the “demand-side” (ecological footprint) and the “supply-side” (biocapacity). While the ecological footprint calculates the demand for natural assets in global hectares, biocapacity symbolizes the supply capacity of nature to meet this demand with the same unit of measurement. Ecological deficit also shows the difference between ecological footprint and biological capacity. Globally, the degree of ecological deficits continued to expand over the last decade due to the increase in EF and reduction in biocapacity, which is caused by the following: increasing consumption of fossil fuel energy, overexploitation of natural resources, unsustainable production methods, and economic activities.

Iran is one of the countries that has a weak environmental performance. According to the Global Footprint Network, Iran's ecological footprint exceeded 333% of its biological capacity in 2022. Iran's ecological deficit, which was - 0.55 global per capita hectares in 1961, has increased by 554% to 2.50 global per capita hectares in 2022, and the destruction and pollution of the environment in Iran have reached unsustainable levels. Therefore, the analysis of the determinants of environmental quality can provide insights into the design of appropriate environmental policies in Iran.

In this regard, the environmental effects of dependence on crude oil have attracted considerable attention. Crude oil is an important and largest source of energy, especially for developing countries such as Iran. It is a fossil-based fuel and a major source of carbon emissions in the world. Hence, many studies have linked oil price shocks to environment quality. In contrast to oil-importing economies, where oil price increases encourage a shift to cheaper and cleaner alternative energy sources, the environmental policy issue in oil-exporting countries is entirely different. Indeed, a fall in oil prices may be associated with a decreased investment in environmentally friendly energy sources. By comparison, an increase in oil prices revealed a reluctance to diversify the economy away from its reliance on non-eco-friendly fossil fuel energy.

Based on the explanations above, the main purpose of this article is to investigate the asymmetric impact of scaled oil price impulses on the environmental Load Capacity Factor (LCF) in Iran using the Non-linear Autoregressive Distributed Lag (MATNARDL) approach. The paper intends to make the following contributions to the literature. Firstly, this article is the first to look into the effect of oil prices on the LCF in Iran by applying asymmetric methodologies. Secondly, it is the first study with a reverse load capacity factor as an environmental sustainability indicator. Thirdly, this paper applied the advanced and newly developed MATNARDL for asymmetric and nonlinear analysis to provide a more robust result that exhibits relevant policy implications. Finally, this innovative study investigated the effects of oil prices on the LCF in Iran between 1961 and 2022 in the framework of the LCC hypothesis.

Methodology

The study compiles annual data for the period 1961-2022 for Iran from three different sources. According to Statista, OP represents average annual OPEC crude oil price (in US dollars per barrel). The data are obtained from the World Bank, GDP per capita, (constant 2015 dollars), Energy Consumption (EC) as kg of oil equivalent per capita, Ecological Footprint (per capita, gha) and LCF (the load capacity factor) are obtained from Global Footprint Network. Because the LCF includes biocapacity in the numerator and EF in the denominator, it allows for simultaneous environmental assessment on the supply and demand sides. A higher LCF indicates a better environment. The current paper's economic functions are illustrated in Equations (1):

$$\text{LnLCF}_t = f[\text{LnOP}_t, \text{LnGDP}_t, \text{LnGDP}_t^2, \text{LnEC}_t, \varepsilon_t] \quad (1)$$

The main objective of this study is to examine the major, medium and minimal scales of positive and negative changes in oil price on the environmental quality index in Iran. For this purpose, the MATNARDL is used as an estimator to examine the effect of minor to major adverse shocks and minor to major positive surprises in the explanatory variable on the explained variable.

Findings

The bounds cointegration test results confirm a long-term relationship in the asymmetric model. The estimation of the model has been performed by categorizing the positive and negative impulses of the oil price in three small (quantiles less than the τ_{30} threshold), medium (quantiles between the τ_{30} and τ_{70} thresholds), and large (quantiles greater than the τ_{70} threshold) scales in the form of MATNARDL approach. The results indicate that in the long term, small scale of positive (negative) oil price impulses had a positive (negative) and significant effect on the load capacity factor; while these impulses have a negative effect on the load capacity factor in the long term in both medium and large scales. Based on other results, energy consumption has a negative and significant effect on the load capacity coefficient, and the environmental hypothesis of the load capacity curve (LLC) in Iran is confirmed.

Discussion and Conclusion

Based on the obtained results, it can be said that the effect of oil price on the load capacity factor in Iran is asymmetric. Among positive impulses, only with increase in small scale of oil price, we can see an increase in load capacity factor and environmental sustainability in the country. Moreover, the positive impulses of the oil price on both medium and large scales lead to the increase of environmental instability by prioritizing economic achievements and activities over environmental issues.

تأثیر نامتقارن تکانه‌های مقیاس‌بندی‌شده قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار (LCF) زیست‌محیطی در ایران به کمک رویکرد NARDL چندآستانه‌ای نامتقارن (MATNARDL)

ابوالقاسم گل‌خندان^۱

۱. دانش‌آموخته دکتری اقتصاد بخش عمومی، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم اداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران (نویسنده مسئول).
golkhandana@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
طی سال‌های گذشته، اثرگذاری نامتقارن تکانه‌های قیمت نفت بر شاخص‌های زیست‌محیطی در کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت، مورد توجه خاصی در بین پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا، هدف اصلی از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر نامتقارن و غیرخطی تکانه‌های مقیاس‌بندی‌شده قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار به‌عنوان شاخص پایداری زیست‌محیطی در ایران طی دوره زمانی ۲۰۲۲-۱۹۶۱ می‌باشد. براین‌اساس، برآورد مدل با دسته‌بندی تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت در سه مقیاس کوچک (کوانتایل کمتر از آستانه T_{30})، متوسط (کوانتایل بین آستانه‌های T_{30} و T_{70}) و بزرگ (کوانتایل بیشتر از آستانه T_{70}) در قالب رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی غیرخطی چند آستانه‌ای نامتقارن (MTANARDL) انجام شده است. نتایج حاکی از آن است که در بلندمدت، تکانه‌های مثبت (منفی) قیمت نفت در مقیاس کوچک، اثر مثبت (منفی) و معناداری بر ضریب ظرفیت بار داشته است؛ درحالی‌که این تکانه‌ها در بلندمدت در دو مقیاس متوسط و بزرگ، اثر منفی بر ضریب ظرفیت بار داشته‌اند. براین‌اساس، می‌توان گفت که اثر قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار در ایران، نامتقارن است و در بین تکانه‌های مثبت، تنها با افزایش در مقیاس کوچک قیمت نفت، می‌توانیم شاهد افزایش ضریب ظرفیت بار و پایداری محیط‌زیست در کشور باشیم. تکانه‌های مثبت قیمت نفت در دو مقیاس متوسط و بزرگ نیز با اولویت بخشیدن به دستاوردها و فعالیت‌های اقتصادی بر مسائل زیست‌محیطی، به افزایش ناپایداری زیست‌محیطی می‌انجامد. براساس سایر نتایج، مصرف انرژی، اثر منفی و معنادار بر ضریب ظرفیت بار داشته و فرضیه زیست‌محیطی منحنی ظرفیت بار (LLC) در ایران، تأیید می‌شود.	تاریخچه داوری: دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳
	کلمات کلیدی: قیمت نفت ضریب ظرفیت بار اثر نامتقارن NARDL چندآستانه‌ای نامتقارن ایران
	طبقه‌بندی JEL: C01, O13, Q5
	نویسنده مسئول: golkhandana@gmail.com

۱. مقدمه

«ردپای اکولوژیکی»^۱ (EF)، تقاضا برای دارایی‌های طبیعی یا دارایی‌های اکولوژیکی مورد نیاز یک جمعیت برای تولید منابع زیست‌محیطی مصرفی و جذب زباله‌های ناشی از آن را در هکتارهای جهانی ارزیابی می‌کند. در مقابل، «ظرفیت زیستی»^۲ نمادی از ظرفیت عرضه طبیعت یا دارایی‌های زیست‌محیطی موجود برای پاسخ‌گویی به این تقاضا در یک منطقه یا سیستم خاص با همان واحد اندازه‌گیری می‌باشد (پاتا و آسیک^۳، ۲۰۲۱؛ فنگ و همکاران^۴، ۲۰۲۴). کسری اکولوژیکی نیز اختلاف بین ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی را نشان می‌دهد. طی دهه‌های گذشته، میزان کسری اکولوژیکی در کشورهای جهان، به دلیل افزایش سطح ردپای اکولوژیکی و کاهش ظرفیت زیستی که ناشی از افزایش مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی، بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی، روش‌های تولید ناپایدار و فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد، افزایش یافته و هم‌چنان در حال گسترش است (دو و همکاران^۵، ۲۰۲۴).

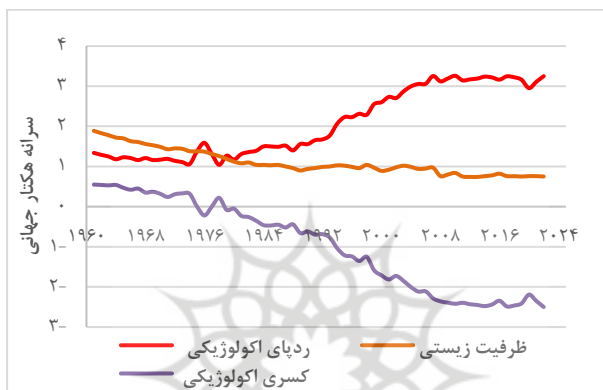
ایران نمونه‌ای از این کشورها است. بر اساس آمار منتشرشده توسط شبکه ردپای جهانی^۶ (۲۰۲۳)، میزان ردپای اکولوژیکی در ایران در سال ۲۰۲۲ (۳/۲۵ سرانه هکتار جهانی)، ۳۳۳ درصد از ظرفیت زیستی آن (۰/۷۵ سرانه هکتار جهانی) فراتر رفته است. شکل (۱)، به روشنی، عدم تعادل بین ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی را در ایران طی دوره ۲۰۲۲-۱۹۶۱ نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که به‌طور کلی، طی این دوره، کسری اکولوژیکی با گذشت زمان افزایش یافته است. کسری اکولوژیکی ایران که در سال ۱۹۶۱، ۰/۵۵- سرانه هکتار جهانی بوده^۷، با ۵۵۴ درصد افزایش به ۲/۵۰ سرانه هکتار جهانی در سال ۲۰۲۲ رسیده است؛ که نشان می‌دهد عرضه موجود منابع طبیعی در ایران برای حفظ الگوهای تولید و مصرف فعلی کافی نیست. بر این اساس، تجزیه و تحلیل عوامل تعیین‌کننده کسری اکولوژیکی در ایران، می‌تواند پیشنهادات ارزشمندی را در زمینه طراحی سیاست‌های زیست‌محیطی مناسب ارائه دهد.

در این راستا، اثرات زیست‌محیطی وابستگی به نفت خام، توجه زیادی را به خود جلب کرده است؛ چراکه مراحل مختلف اکتشاف، استخراج و فرآوری نفت و فعالیت پالایشگاه‌ها، موجب اتلاف منابع و تخریب محیط‌زیست نواحی می‌شود. نفت خام، یک منبع مهم و بزرگ انرژی در اقتصادهای نفتی به حساب می‌آید و به‌عنوان یک سوخت فسیلی، منبع اصلی انتشار کربن در جهان است. تلاش برای رشد اقتصادی بالاتر در اقتصادهای نفتی، مصرف سوخت‌های فسیلی از جمله نفت را به‌عنوان منبع

1. Ecological Footprint (EF)
2. Biocapacity
3. Pata & Isik (2021)
4. Fang et al. (2024)
5. Du et al. (2024)
6. Global Footprint Network (GFN)

۷. این علامت منفی برای کسری اکولوژیکی هم‌معنا با وجود مازاد اکولوژیکی است.

اصلی انرژی، تشدید می‌کند. از این رو، ادبیات مطروحه در زمینه مسائل زیست‌محیطی، تکانه‌های (شوکه‌های) قیمت نفت را با کیفیت محیط‌زیست مرتبط می‌داند (اوکوانیا و همکاران، ۲۰۲۳). از طرفی، نتایج مطالعات تجربی جدیدتر، نشان می‌دهد که ممکن است افزایش و کاهش قیمت نفت، تأثیر یکسانی بر کیفیت محیط‌زیست نداشته باشند. به عبارت دیگر، این اثرگذاری ممکن است نامتقارن باشد (الله و همکاران، ۲۰۲۰؛ عبید و همکاران، ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲)؛ اوکوانیا و همکاران، ۲۰۲۳؛ جوف و همکاران، ۲۰۲۳؛ حسن و مه‌لانگ، ۲۰۲۳؛ دجدايت و همکاران، ۲۰۲۴).



شکل ۱: ردپای اکولوژیکی، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیکی در ایران (۱۹۶۱-۲۰۲۲)

Figure 1: Ecological footprint, biocapacity and ecological deficit in Iran (1961-2022)

منبع: شبکه ردپای جهانی (۲۰۲۳)

بر اساس توضیحات فوق، هدف اصلی از این مقاله، بررسی تأثیر نامتقارن تکانه‌های مقیاس‌بندی شده قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار زیست‌محیطی در ایران به کمک رویکرد NARDL نامتقارن چند آستانه‌ای می‌باشد. این مطالعه، از حیث سه جنبه اصلی، با مطالعات تجربی انجام‌شده در زمینه اقتصاد محیط‌زیست در ایران متفاوت است. نخست، این مطالعه، اولین تلاش تجربی برای تجزیه و تحلیل تأثیر نامتقارن تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت بر شاخص پایداری زیست‌محیطی در ایران است. دوم، این مطالعه، به منظور اندازه‌گیری پایداری محیط‌زیست از مفهومی به نام «ضریب ظرفیت بار»^۸ (LCF) استفاده می‌کند. LCF به عنوان یک شاخص مناسب و جدید برای بررسی کیفیت محیط‌زیست، هر دو طرف عرضه و تقاضای اکوسیستم را در نظر می‌گیرد و به نتایج دقیق‌تری منجر

1. Okwanya et al. (2023)
2. Ullah et al. (2020)
3. Ebaid et al. (2022)
4. Zhang et al. (2022)
5. Joof et al. (2023)
6. Hassan & Mhlanga (2023)
7. Djedaïet et al. (2024)
8. Load Capacity Factor (LCF)

می‌گردد. سوم، این مطالعه، تأثیر نامتقارن تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت را با به‌کارگیری یک رویکرد جدید توسعه‌یافته را در داده‌های سری زمانی به نام مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی غیرخطی چند آستانه‌ای نامتقارن^۱ (MATNARDL) مورد بررسی قرار داده است. این برآوردگر قادر است که تأثیر تغییرات اساسی، متوسط و حداقلی در تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت را بر LCF تعیین کند و بر این اساس، می‌تواند در زمینه موضوع تحقیق، ارائه‌دهنده نتایج دقیق‌تر و جدیدی برای نخستین‌بار باشد. از این رو، مقاله حاضر در پنج بخش تنظیم شده است. پس از مقدمه، بخش دوم مقاله، به ادبیات موضوع می‌پردازد. بخش سوم، به روش تحقیق و معرفی متغیرها و توصیف داده‌ها اختصاص دارد. در بخش چهارم، به برآورد مدل و تحلیل نتایج پرداخته شده و در بخش پایانی نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات آمده است.

۲. ادبیات موضوع

۲-۱. مبانی نظری

۲-۱-۱. قیمت نفت و تخریب محیط‌زیست

ساختار اقتصادی یک کشور، ممکن است بر سیاست‌های آن کشور در مورد کیفیت محیط‌زیست تأثیر بگذارد و باعث شود که کشورهای واردکننده و صادرکننده، به تکانه‌های قیمت نفت واکنش متفاوتی نشان دهند (اوکوانیا و همکاران، ۲۰۲۳؛ دجایت و همکاران، ۲۰۲۴؛ طیبی و همکاران، ۲۰۱۸). به‌عنوان مثال، کشین و همکاران^۲ (۲۰۱۴)، استدلال می‌کنند که تکانه‌های قیمت نفت به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر محیط و اکولوژی کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت تأثیر می‌گذارد. تأثیر مستقیم آن، تغییر در تولید و مصرف نفت و تأثیر غیرمستقیم آن‌ریال تغییر تکانه‌ها از طریق تجارت بین‌المللی است.

در کشورهای واردکننده نفت، افزایش قیمت نفت، ممکن است به‌دلیل کمبود انرژی باعث حرکت به سمت منابع انرژی ارزان‌تر و سبزتر شود و در نتیجه انتشار CO_2 و تخریب محیط‌زیست را کاهش دهد. در مقابل، کاهش قیمت نفت، ممکن است منجر به استفاده بیشتر از سوخت‌های فسیلی شود و در نتیجه، از طریق افزایش انتشار CO_2 ، پیامدهای منفی بر محیط‌زیست نشان دهد (عبید و همکاران، ۲۰۲۲). این موضوع با دو مفهوم اثر جایگزینی و اثر درآمدی تغییر قیمت مطابقت دارد. افزایش قیمت نفت، انرژی را برای کشورهای واردکننده نفت پرهزینه‌تر می‌کند و بر این اساس، این احتمال وجود دارد که به‌دنبال جایگزین‌های دیگری برای سوخت‌های فسیلی باشند؛ که این عمل، میزان انتشار CO_2 را کاهش می‌دهد. در واقع، افزایش قیمت نفت یک فرصت ایده‌آل برای این کشورها فراهم می‌کند که سرمایه‌گذاری و توسعه انرژی‌های نو را گسترش دهند. از سوی دیگر، کاهش قیمت نفت،

به‌معنای وجود منابع انرژی ارزان از سوخت‌های فسیلی است؛ در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش می‌یابد که منجر به افزایش انتشار CO_2 می‌شود (اوکوانیا و همکاران، ۲۰۲۳).

برخلاف اقتصادهای واردکننده نفت، موضوع سیاست زیست‌محیطی در کشورهای صادرکننده نفت، کاملاً متفاوت و تا حدودی پیچیده‌تر است. نفت بخش مهمی از سبد صادرات در کشورهای تولیدکننده آن را تشکیل می‌دهد و نقش مهمی در به حرکت درآوردن اقتصاد این کشورها ایفا می‌کند. بر این اساس، مشاهده می‌شود که دستاوردهای اقتصادی بر نگرانی‌های زیست‌محیطی در کشورهای تولیدکننده نفت، اولویت داشته باشد. یک تکانه مثبت قیمت نفت، ممکن است به دلیل نیاز به افزایش رشد و توسعه اقتصادی در این کشورها، به افزایش تولید نفت و تخریب محیط‌زیست بیانجامد. در واقع، افزایش قیمت نفت، نشان‌دهنده عدم تمایل به تنوع بخشیدن به اقتصاد به دور از اتکای آن به انرژی سوخت فسیلی غیردوستدار محیط زیست است (دجدایت و همکاران، ۲۰۲۴).

از طرفی، افزایش (کاهش) قیمت نفت، ممکن است با افزایش (کاهش) سرمایه‌گذاری در منابع انرژی سازگار با محیط‌زیست و بهبود تکنولوژی‌های زیست‌محیطی همراه باشد. در واقع، تغییر فناوری‌های سنتی به فناوری‌های پیشرفته و پاک‌تر، می‌تواند با ایجاد صندوق‌های سبز از طریق درآمدهای ناشی از فروش منابع طبیعی، امکان‌پذیر باشد (ابراهیم و آجیده، ۲۰۲۱؛ پاتا و ارطوغرول، ۲۰۲۳). علاوه بر این، رانت منابع طبیعی، می‌تواند به بهبود عملکرد اقتصادی یک کشور منجر گردد که به صعود و بالا رفتن از نردبان توسعه و رشد اقتصادی کمک می‌کند. بر این اساس، می‌توان نتایج نامطلوب توسعه اقتصادی بر روی کیفیت محیط‌زیست را همان‌طور که در فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس^۳ (EKC) پیش‌بینی شده است، درونی کرد (اردوغان، ۲۰۲۴). از این رو، می‌توان گفت اثر افزایش (کاهش) قیمت نفت بر کیفیت محیط‌زیست در کشورهای صادرکننده نفت نامشخص و مبهم است.

رفتار نامتقارن قیمت نفت به‌طور گسترده‌ای در ادبیات اقتصادی به رسمیت شناخته شده است (همیلتون، ۱۹۸۳؛ کائو و همکاران، ۲۰۲۰؛ آیاد و همکاران، ۲۰۲۳؛ مولایی و همکاران، ۲۰۱۴؛ عزیزاده و گل‌خندان، ۲۰۱۷)؛ به این معنی که تأثیر افزایش قیمت نفت، ممکن است با کاهش آن در کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت، متفاوت باشد.

1. Pata & Ertugrul (2023)

2. Ibrahim & Ajide (2021)

3. Environmental Kuznets Curve (EKC)

طبق این فرضیه، رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست (انتشار CO_2) به‌شکل U معکوس می‌باشد و رشد و توسعه اقتصادی در مراحل ابتدایی به افزایش انتشار CO_2 منجر می‌گردد.

4. Eedogan (2024)

5. Hamilton (1983)

6. Cao et al. (2020)

7. Ayad et al. (2023)

از زمان مطالعه همیلتون (۱۹۸۳)، اجماع غالبی وجود داشته است که نوسانات قیمت نفت، رفتار نامتقارنی را نسبت به متغیرهای کلان اقتصادی و بالاخص رشد اقتصادی نشان می‌دهد. در نتیجه، منطقی است که تأثیر استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر در کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت بر کیفیت محیط‌زیست، به دلیل ارتباط نامتقارن این انرژی‌ها با رشد اقتصادی و سایر متغیرهای اثرپذیر در این زمینه مانند سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر، به صورت نامتقارن باشد (دجدايت و همکاران، ۲۰۲۴؛ تمباری و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۱-۲. شاخص تخریب محیط‌زیست: انتشار CO_2 ، EF یا LCF؟

موضوع مهمی که در ادبیات گذشته در زمینه شناسایی عوامل مؤثر بر پایداری محیط‌زیست مطرح می‌شود، آن است که از کدام شاخص می‌باید برای مدل‌سازی متغیر وابسته استفاده شود. رویکرد متداول و سنتی در این زمینه، استفاده از انتشار کربن (CO_2) به عنوان نماینده‌ای برای کیفیت محیط‌زیست به دلیل داشتن بالاترین سهم در سطوح انتشار کل گازهای گلخانه‌ای است. با این حال، گروهی از محققان استدلال می‌کنند که تخریب محیطی، یک موضوع پیچیده می‌باشد و CO_2 تنها بر یک بعد آن متمرکز است. سایر شاخص‌های تخریب محیطی مانند آلودگی آب و زباله‌های شهری، جنگل‌زدایی و تنوع زیستی و انتشار مستقیم و غیرمستقیم سایر گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن نیز زمانی که به صورت مجزا مورد استفاده قرار می‌گیرند، تنها بخش کوچکی از مسائل زیست‌محیطی را پوشش می‌دهند (سان و همکاران، ۲۰۲۳).

بر این اساس، استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی (EF) به جای CO_2 و سایر ابعاد تخریب محیط‌زیست به دلیل در نظر گرفتن شش بعد فرعی تخریب محیطی، پیشنهاد شده است (اردوغان، ۲۰۲۳). با این حال، EF به دلیل آنکه در مدل‌سازی، تنها جنبه تقاضای اکولوژی را در نظر می‌گیرد، توسط محققان مورد انتقاد قرار گرفته است و یک شاخص محدود برای کیفیت محیطی در نظر گرفته می‌شود. از این رو، بسیاری از مطالعات تجربی جدیدتر که شمار آن رو به افزایش است، از مفهوم ضریب ظرفیت بار (LCF) که توسط سیچه و همکاران (۲۰۱۰) توسعه داده و پیشنهاد شده است، به عنوان شاخص جدیدی برای پایداری محیط‌زیست استفاده کرده و آن را به دلیل مدل‌سازی ابعاد تقاضا و عرضه محیط، شاخص برتر عملکرد زیست‌محیطی دانسته‌اند.

البته محققان توجه زیادی به این شاخص جامع کیفیت محیطی نداشته‌اند؛ تا آن که پاتا (۲۰۲۱) برای اولین بار با به کارگیری یک مدل رگرسیون خطی، عوامل تعیین‌کننده LCF را به صورت تجربی تجزیه و تحلیل کرد (پاتا و ارطوغرول، ۲۰۲۳).

LCF با تقسیم ظرفیت زیستی بر ردپای اکولوژیکی به دست می‌آید. اگر LCF بزرگ‌تر از عدد ۱ باشد، مازاد اکولوژیکی وجود دارد و شرایط محیطی و منابع طبیعی موجود برای رفع نیازهای انسان

کافی است؛ اما اگر LCF کوچک‌تر از عدد ۱ باشد، نشانگر کسری اکولوژیکی است و عادات مصرفی جامعه به محیط‌زیست آسیب می‌رساند. بدیهی است که اگر ظرفیت زیست‌محیطی با ردپای اکولوژیکی برابر باشد، عرضه و تقاضای اکوسیستم، مساوی بوده، و تعادل اکولوژیکی وجود دارد. این حالت، نشان‌دهنده حد پایداری است و در آن مقدار LCF مساوی با عدد ۱ است (پاتا، ۲۰۲۱؛ پاتا و ارطوغرول، ۲۰۲۳؛ اوچه و نگپاه، ۲۰۲۴).

فرضیه منحنی ظرفیت بار (LCC)

کیفیت محیط‌زیست و عوامل تعیین‌کننده آن، یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح‌شده در حوزه اقتصاد محیط‌زیست می‌باشد. در این راستا، شناسایی چگونگی اثرگذاری رشد اقتصادی بر کیفیت محیط‌زیست، همواره یکی از مهم‌ترین مجادلات در حوزه اقتصاد و محیط‌زیست بوده است. سؤال اساسی در این مطالعات، آن است که افزایش رشد اقتصادی، چه اثراتی بر تخریب محیط‌زیست خواهد داشت؟ به‌طور کلی، محققان با استفاده از EKC که توسط گروسمن و کروگر^۲ (۱۹۹۱) مطرح شده است، ارتباط بین رشد اقتصادی و شاخص‌های تخریب محیطی مانند EF و انتشار CO₂ را مطالعه می‌کنند. در واقع، EKC از لحاظ نظری، به این ارتباط پاسخ می‌دهد و معتقد است که در سطوح پایین رشد اقتصادی، ارتباط مثبت و در سطوح بالای رشد اقتصادی، ارتباط منفی بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست وجود دارد (دلیری، ۲۰۲۰: ۸۲). به عبارت دیگر، EKC کلاسیک معتقد است که رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست به شکل U معکوس می‌باشد.^۴ فرم EKC کلاسیک بیانگر آمیزه‌ای از سه ارتباط عمده بین رشد اقتصادی (درآمد سرانه) و تخریب محیط‌زیست می‌باشد که عبارتند از: اثر مقیاس، اثر ترکیب و اثر تکنولوژی (تکنیک) (کازرونی و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۰).

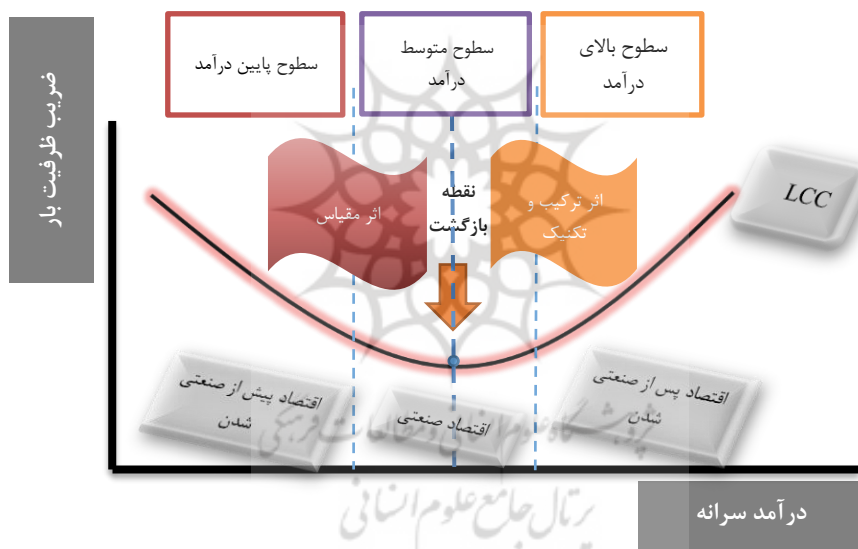
طبق فرضیه EKC، رشد اقتصادی در ابتدا به دلیل اثر مقیاس، آلودگی را افزایش و سپس با اثرات ترکیب و تکنیک، آلودگی را کاهش می‌دهد. با گذار از بخش کشاورزی به بخش صنعت، تولید به دلیل افزایش صرفه‌جویی در مقیاس، افزایش می‌یابد که با مصرف بیشتر منابع طبیعی همراه است. این افزایش در تولید، افزایش مصرف منابع طبیعی را به دنبال دارد و افزایش مصرف به دلیل صرفه‌جویی در مقیاس، منجر به آلودگی بیشتر محیط‌زیست می‌شود. در مراحل بعدی فرایند رشد اقتصادی، ساختار اقتصاد با گذار از بخش صنعتی به بخش خدمات، تغییر می‌کند. بنابراین، اقتصاد دست‌خوش یک تغییر ساختاری خواهد شد؛ از بخش صنعتی که در آن انرژی با شدت بیشتری استفاده می‌شود، به بخش خدمات که در آن فناوری و سرمایه انسانی با شدت بیشتری استفاده می‌شود.

1. Uche & Ngpeh (2024)
2. Load Capacity Curve (LCC)
3. Grossman & Krueger (1991)

۴. با این حال، استثنائاتی برای این رابطه و تحقق آن وجود دارد و به دلیل ناهمگونی رابطه بین محیط‌زیست و درآمد، ایده‌ها و فرضیه‌های گوناگونی در این زمینه شکل گرفته، به‌طور مثال، منحنی EKC به شکل N انحراف از فرم معمولی U شکل معکوس است.

این اثر ساختاری ممکن است به این معنی باشد که رشد اقتصادی بر اساس بخش خدمات، فشار زیست محیطی را کاهش می‌دهد (پاتا و آیسیک، ۲۰۲۱؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ پاتا و تانریور، ۲۰۲۳).

با این حال، فرضیه EKC، اغلب به دلیل تمرکز آن بر انتشار CO_2 به عنوان آلودگی محیطی و متغیر EF به عنوان عامل تعیین کننده تخریب محیط زیست، مورد انتقاد قرار گرفته است. بر این اساس، مطالعات جدیدتر برای آزمون فرضیه EKC از متغیرهایی مانند LCF و معکوس آن (ILCF) - که پایداری محیط زیست را به عنوان شاخص کیفیت محیطی در نظر می‌گیرند- استفاده کرده‌اند. دوگان و پاتا (۲۰۲۲)، با الهام از فرضیه EKC، یک رابطه U شکل بین درآمد سرانه و LCF (شاخص مستقیم کیفیت و پایداری محیطی) را گزارش کردند و این رابطه را به عنوان فرضیه "منحنی ظرفیت بار" (LCC) توضیح دادند (شکل ۲).



شکل ۲: منحنی ظرفیت بار (LCC) U شکل
Figure 2: U-shaped load capacity curve (LCC)
منبع: دجایت و همکاران (۲۰۲۴)

بر اساس شکل (۲)، تولید و رشد اقتصادی جوامعی که در مراحل نخست، هیچ توجهی نسبت به کیفیت محیط زیست ندارند، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت اکولوژیکی و در نتیجه کاهش LCF شود. در واقع، استفاده از سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های انسانی بدون توجه به محیط زیست، کیفیت محیطی را در مراحل ابتدایی رشد اقتصادی، به شدت کاهش می‌دهد؛ اما وقتی کشورها از سطح

1. Wang et al. (2023)
2. Pata & Tanriover (2023)
3. Dogan & Pata (2022)

درآمد معینی فراتر می‌روند، رشد اقتصادی می‌تواند کیفیت زیست‌محیطی و LCF را به لطف سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید پاک‌تر و سبز، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و محصولات دوستدار محیط‌زیست و آگاهی بیشتر از محیط‌زیست افزایش دهد (سان و همکاران، ۲۰۲۳؛ پاتا و ارطوغول، ۲۰۲۳).

۲-۲. پیشینه تحقیق

در این بخش، مطالعات خارجی و داخلی در زمینه موضوع تحقیق، به‌ترتیب مورد بررسی قرار می‌گیرند: الله و همکاران (۲۰۲۰)، تأثیر نامتقارن تغییرات قیمت نفت را بر آلودگی زیست‌محیطی در ۱۰ کشور پیشرو انتشار کربن طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه با به‌کارگیری مدل ARDL غیرخطی (NARDL)، نشان می‌دهد که تکانه‌های مثبت قیمت گازوئیل در ایالات‌متحده، هند، ژاپن، آلمان، کره جنوبی، ایران و کانادا و تکانه‌های منفی آن در چین و هند، باعث کاهش انتشار کربن در بلندمدت می‌شود. با این حال، افزایش قیمت بنزین در روسیه و ایران و کاهش قیمت آن در ایالات‌متحده، روسیه، ژاپن و کانادا، باعث کاهش انتشار کربن در بلندمدت می‌شود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که تغییرات مثبت و منفی در قیمت‌های نفت در کوتاه‌مدت و بلندمدت، به‌طور متفاوتی بر انتشار کربن در چین، ایالات‌متحده، هند، روسیه، ژاپن، آلمان، کره جنوبی، ایران، عربستان و کانادا تأثیر می‌گذارد.

آچوو (۲۰۲۲)، رابطه بین تکانه‌های قیمت نفت خام و کیفیت محیط‌زیست را در کشورهای جنوب صحرای آفریقا (SSA) بررسی کرده است. نتایج این مطالعه با کمک روش برآورد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی/ میانگین گروهی ادغام‌شده (تلفیقی) (PMG/ARDL)، نشان‌دهنده یک رابطه بلندمدت مثبت و معنادار بین قیمت نفت خام و انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) است؛ که نشان می‌دهد افزایش قیمت نفت خام، کیفیت زیست‌محیطی را در SSA بدتر می‌کند. علاوه بر این، نتایج شواهدی از تأثیر مثبت معنادار تولید ناخالص داخلی واقعی (GDP) بر انتشار CO_2 را در SSA نشان می‌دهد که نشان می‌دهد با دستیابی کشورهای SSA به سطوح بالاتر رشد اقتصادی، کیفیت محیط‌زیست بدتر می‌شود.

کسوری و همکاران (۲۰۲۲)، هم‌حرکتی بین تکانه‌های نفتی و شدت انتشار CO_2 در ایالات‌متحده را از فوریه ۱۹۷۵ تا ژوئیه ۲۰۱۸ با استفاده از تکنیک‌های موجک^۴ بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه، نشان می‌دهد که رابطه بین قیمت نفت و انتشار کربن، به منبع تکانه بستگی دارد. بر این اساس، قدرت توضیحی تکانه‌های تقاضای نفت نسبتاً قوی‌تر از تکانه‌های عرضه (موجودی) نفت است و تکانه‌های مثبت قیمت نفت ناشی از تکانه‌های عرضه نفت، احتمالاً انتشار کربن را کاهش نمی‌دهند.

1. Achuo (2022)

2. Sub-Saharan Africa (SSA)

3. Pooled Mean Group Autoregressive Distributed Lag (PMG/ARDL)

4. Wavelet Techniques

علاوه بر این، افزایش شدت انتشار CO_2 ، منجر به عدم اطمینان بیشتر در بازار جهانی نفت می‌شود و موجودی نفت را کاهش می‌دهد.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۲)، اثرات متقارن و نامتقارن قیمت نفت را بر انتشار کربن در ایالات متحده و چین بررسی کرده‌اند. به این منظور، از داده‌های ماهانه دوره زمانی ۱۹۹۵:۱ تا ۲۰۱۹:۴ و دو مدل $ARDL$ و $NARDL$ استفاده شده است. نتایج مدل متقارن با روش $ARDL$ ، نشان می‌دهد که تغییر در قیمت نفت، تأثیر باوقفه بر انتشار کربن در کوتاه‌مدت دارد. نتایج برآوردگر $NARDL$ نیز حاکی از آن است که تکانه مثبت قیمت نفت در بلندمدت بر انتشار گاز کربن تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد و یک واحد افزایش در این عامل، انتشار کربن در آمریکا و چین را به ترتیب حدود ۱۵/۷۳ و ۰/۴۴ درصد افزایش می‌دهد. علاوه بر این، در کوتاه‌مدت، تکانه منفی قیمت نفت، اثر باوقفه بر انتشار کربن را نشان می‌دهد.

عبید و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای، به بررسی تأثیر نامتقارن تکانه‌های قیمت نفت بر شاخص تخریب محیط‌زیست در شش کشور شورای همکاری خلیج فارس^۱ (GCC) طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ پرداخته‌اند. به این منظور، از رویکرد رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب پویا^۲ (DSUR) استفاده شده است که مسئله وابستگی مقطعی را در نظر می‌گیرد. یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که تکانه‌های مثبت قیمت نفت از نظر آماری، اثر منفی معناداری بر انتشار CO_2 دارند، در حالی که تکانه‌های منفی قیمت نفت بر انتشار CO_2 ، تأثیری نداشته است. به‌طور جزئی‌تر، تکانه‌های مثبت قیمت نفت بر انتشار CO_2 در عمان، بحرین، عربستان سعودی، قطر و امارات متحده عربی، تأثیر منفی گذاشته است و بیشترین تأثیر منفی در قطر و عربستان سعودی دیده می‌شود. در همین حال، تکانه‌های منفی قیمت نفت از نظر آماری، تأثیرات معنی‌داری بر انتشار CO_2 در عمان و عربستان سعودی دارد؛ در حالی که برای سایر کشورها، تأثیر معنی‌داری ندارد. همچنین، نتایج از منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در کویت، عمان، قطر، عربستان سعودی و امارات متحده عربی پشتیبانی می‌کند.

اوکوانیا و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای، به دنبال پاسخ به این پرسش هستند که آیا انتشار کربن به تکانه‌های قیمت نفت، واکنش نشان می‌دهد؟ به این منظور، این مطالعه به بررسی اثر نامتقارن تغییرات قیمت نفت بر انتشار CO_2 در ۳۰ کشور آفریقایی طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۸۷ با استفاده از روش پانل $NARDL$ پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که یک رابطه نامتقارن بین قیمت نفت و انتشار CO_2 وجود دارد و تغییرات مثبت (منفی) در قیمت نفت، با کاهش (افزایش) انتشار CO_2 همراه است. علاوه بر این، در بلندمدت، میزان واکنش انتشار CO_2 به تغییرات مثبت (منفی) قیمت نفت در کشورهای واردکننده (صادرکننده) نفت، بیشتر از کشورهای صادرکننده (واردکننده) نفت است.

جوف و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای، با استفاده دو از مدل $NARDL$ و $ARDL$ بوت‌استرپ، به ارزیابی تأثیر نامتقارن و متقارن قیمت نفت و طلا بر کیفیت محیط‌زیست در چین طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۸ پرداخته‌اند. یافته‌های مدل $ARDL$ بوت‌استرپ، نشان می‌دهد که قیمت نفت و طلا به‌طور متقارن بر ردپای اکولوژیکی در چین تأثیر می‌گذارد. در زمینه تحلیل عدم تقارن، یافته‌های $NARDL$ نشان داد که تکانه مثبت در قیمت نفت، کیفیت اکولوژیکی را افزایش می‌دهد؛ در حالی که تکانه منفی، کیفیت اکولوژیکی را بدتر می‌کند. در مقابل، تکانه مثبت در قیمت طلا، کیفیت اکولوژیکی را کاهش و تکانه منفی، کیفیت اکولوژیکی را ارتقاء می‌دهد. علاوه بر این، انرژی‌های تجدیدپذیر، تأثیر مثبتی بر کیفیت محیط‌زیست داشته و فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) در هر دو مدل صادق است.

حسن و مه‌لانگا (۲۰۲۳)، در مطالعه‌ای، تأثیر نامتقارن قیمت نفت را بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای عمده تولیدکننده نفت در قاره آفریقا طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۸ بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه، با به‌کارگیری دو رویکرد $DSUR$ در سطح کل و $FMOLS$ در سطح کشوری، تأثیر نامتقارن قیمت نفت را بر ردپای اکولوژیکی نشان می‌دهد. در سطح کل، تکانه‌های مثبت قیمت نفت، ردپای اکولوژیکی را افزایش و تکانه‌های منفی، آن را کاهش می‌دهد.

دجایت و همکاران (۲۰۲۴)، در مطالعه‌ای، به بررسی تجربی اثرات متقارن و نامتقارن قیمت نفت بر شاخص زیست‌محیطی ضریب ظرفیت بار در هفت کشور آفریقایی تولیدکننده نفت اوپک بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ پرداخته‌اند. این مطالعه از مدل $PMG-ARDL$ برای برآورد اثرات متقارن و از مدل $PMG-NARDL$ برای برآورد اثرات نامتقارن قیمت نفت استفاده کرده است. نتایج مدل $PMG-ARDL$ هیچ شواهدی از اثرات متقارن معنادار قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار را در کوتاه‌مدت و بلندمدت نشان نمی‌دهد. در مقابل، مدل $PMG-NARDL$ نشان می‌دهد که ضریب ظرفیت بار به‌طور منفی، تحت تأثیر تکانه‌های مثبت (افزایشی) قیمت نفت قرار می‌گیرد و اثرات کوتاه‌مدت، از اثرات بلندمدت آن بزرگ‌تر است. این نتایج در هنگام استفاده از مدل‌های $CS-ARDL$ و $CS-NARDL$ همچنان پابرجا هستند. علاوه بر این، نتایج حاکی از اعتبار فرضیه منحنی ظرفیت بار (LCC) با نقطه بازگشتی بین درآمد سرانه ۶۶۷۴ تا ۷۶۲۳ دلار است. در نهایت، نتایج تحلیل علیت پانلی دومیترسکو-هورلین^۱، حاکی از وجود رابطه علیت یک‌طرفه از افزایش قیمت نفت به ضریب ظرفیت بار است.

طیسی و همکاران (۲۰۱۸)، اثر آزادسازی تجارت و تکانه‌های نفتی را بر کیفیت محیط‌زیست در کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت طی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۸۰ بررسی کرده‌اند. نتایج با استفاده از روش داده‌های ترکیبی، نشان می‌دهد که تکانه‌های نفتی و آزادسازی تجارت، هر دو اثر معنی‌داری بر آلودگی محیط زیست دارند و میزان CO_2 موجود در هوا را کاهش خواهند داد.

سنجری کنارصندل و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای، تأثیر نامتقارن نااطمینانی سیاست اقتصادی و تأثیر متقارن قیمت نفت را بر انتشار CO₂ در ایران طی بازه زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۸ بررسی کرده‌اند. به این منظور، از روش NARDL استفاده شده، و نتایج حاصل از برآورد مدل پژوهش، نشان‌دهنده تأثیر نامتقارن نااطمینانی سیاست اقتصادی بر انتشار کربن است؛ به‌طوری‌که تأثیر تغییرات مثبت متغیر نااطمینانی سیاست اقتصادی، در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر انتشار کربن، مثبت و معنی‌دار بوده، درحالی‌که بین تغییرات منفی متغیر نااطمینانی سیاست اقتصادی با انتشار کربن، در کوتاه‌مدت و بلندمدت، رابطه معنی‌داری وجود ندارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که تأثیر قیمت نفت بر انتشار کربن، متقارن است، به‌طوری‌که بین قیمت نفت با انتشار کربن در کوتاه‌مدت، رابطه معنی‌داری وجود ندارد، اما بین تغییرات این متغیر با انتشار کربن در بلندمدت، رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

بررسی پیشینه پژوهش، نشان می‌دهد که طی سال‌های گذشته، مطالعات متعددی، به بررسی آثار متقارن و نامتقارن تکانه‌های قیمت نفت بر شاخص‌های مختلف کیفیت محیط‌زیست پرداخته‌اند که بر اساس نتایج این مطالعات، به‌نظر می‌رسد که پذیرش رفتار نامتقارن و تأثیر متفاوت تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت نسبت به اثرگذاری متقارن آن، مستدل‌تر و قابل اتکاتر است. در این راستا، پژوهش حاضر، صرف‌نظر از تفاوت‌های مهمی که با محدود مطالعات داخلی انجام‌شده در زمینه تحقیق دارد (و در بخش مقدمه به آن‌ها اشاره شد)، سعی دارد با به‌کارگیری رویکرد نوین MATNARDL، تأثیر نامتقارن قیمت نفت بر شاخص کیفیت محیط‌زیست را به‌صورت گسترش‌یافته و با تفکیک تکانه‌های مثبت و منفی آن، به تکانه‌های اساسی (بزرگ)، متوسط و کوچک تعیین کند. بنابراین، این مطالعه در زمینه موضوع تحقیق، ارائه‌دهنده نتایج جدید و دقیق‌تر برای نخستین‌بار است.

۳. مدل و روش تحقیق

۳-۱. مدل تحقیق

فرم تبعی مدل این پژوهش، با توجه به اهداف آن، مرور مبانی نظری، ساختار اقتصاد ایران و با الهام از مطالعات تجربی عبید و همکاران (۲۰۲۲)، حسن و مهلنگا (۲۰۲۳) و دجایت و همکاران (۲۰۲۴)، به‌صورت زیر تعیین شده است:

$$\text{LnLCF} = f(\text{LnGDP}, \text{LnGDP}^2, \text{LnEC}, \text{LnOP}, \varepsilon) \quad (۱)$$

در رابطه فوق، Ln: لگاریتم طبیعی؛ LCF: ضریب ظرفیت بار (شاخص اندازه‌گیری پایداری محیط‌زیست)؛ GDP: تولید ناخالص داخلی سرانه (شاخص رشد اقتصادی)؛ GDP²: مربع تولید ناخالص داخلی؛ EC: مصرف انرژی؛ OP: قیمت نفت خام و ε: جزء اخلاص (خطای) مدل است. در جدول (۱)، تعریف دقیق متغیرها به‌همراه منبع جمع‌آوری داده‌های آن‌ها ارائه شده است. شایان ذکر است که دوره زمانی این تحقیق، سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۲ را در بر می‌گیرد (۶۲ سال).

جدول ۱: متغیرها و منابع داده‌ها

Table 1: Variables and data sources

متغیر	نماد	شاخص و نحوه اندازه‌گیری	منبع
ضریب ظرفیت بار	LCF	نسبت ظرفیت زیستی (بر حسب سرانه هکتار جهانی) به ردپای اکولوژیکی (بر حسب سرانه هکتار جهانی)	وبسایت شبکه ردپای جهانی (GFN) (۲۰۲۴)
رشد اقتصادی	GDP	تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه (بر حسب دلار و به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۵)	وبسایت شاخص‌های توسعه جهانی (WDI) متعلق به بانک جهانی (۲۰۲۴)
مصرف انرژی	EC	سرانه مصرف انرژی (بر حسب کیلوگرم معادل نفتی)	وبسایت WDI (۲۰۲۴)
قیمت نفت	OP	متوسط سالیانه قیمت نفت خام اوپک (بر حسب دلار آمریکا در هر بشکه)	وبسایت Statista (۲۰۲۴)

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

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

نشانی وبسایت Statista: <https://www.statista.com>

۳-۲. روش تحقیق

به منظور بررسی اثرات نامتقارن متغیر مستقل بر متغیر وابسته، شین و همکاران (۲۰۱۴)، رویکرد ARDL غیرخطی (NARDL) را پیشنهاد کرده‌اند که در آن، رگرورها به دو مجموع جزئی، یعنی مثبت (تکانه‌های مثبت) و منفی (تکانه‌های منفی) تجزیه می‌شوند. بر این اساس، در مطالعه حاضر، قیمت نفت خام به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\text{LnOP}_t = \text{LnOP}_0 + \text{LnOP}_t^+ + \text{LnOP}_t^- \quad (2)$$

در رابطه فوق، تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت با توجه به تعریف گرنجر و یون (۲۰۲۲)، به صورت مجموع تجمعی مثبت و منفی لگاریتم طبیعی قیمت نفت محاسبه می‌شوند:

$$\text{LnOP}_t^+ = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+ = \sum_{i=1}^t \max(\Delta \text{LnOP}_i, 0) \quad (3)$$

$$\text{LnOP}_t^- = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^- = \sum_{i=1}^t \min(\Delta \text{LnOP}_i, 0) \quad (4)$$

با وارد کردن تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت در یک مدل ARDL، به مدل NARDL دست خواهیم یافت.

پال و میترا (۲۰۱۵؛ ۲۰۱۶)، مدل ARDL غیرخطی چند آستانه‌ای (MTNARDL) را با الهام از مدل NARDL و در ادامه بسط مطالعه تجربی ورهین (۲۰۱۳) در زمینه مدل NARDL دو آستانه‌ای، معرفی کردند. نقطه قوت این مدل نسبت به مدل NARDL در آن است که تأثیر تغییرات

1. World Development Indicators (WDI)
2. Shin et al. (2014)
3. Granger & Yoon (2002)
4. Pal & Mitra (2015, 2016)
5. Verheyen (2013)

اساسی، متوسط و حداقلی در متغیر برونزا را بر روی متغیر وابسته در نظر می‌گیرد (اوجه و افیوم، ۲۰۲۱). در مدل MTNARDL، ابتدا قیمت نفت خام را به پنجک ۲ در پنج سری مجموع جزئی تجزیه می‌کنیم:

$$\text{LnOP}_t = \text{LnOP}_0 + \text{LnOP}_t(\omega_1) + \text{LnOP}_t(\omega_2) + \text{LnOP}_t(\omega_3) + \text{LnOP}_t(\omega_4) + \text{LnOP}_t(\omega_5) \quad (5)$$

در رابطه فوق، $\text{LnOP}_t(\omega_1)$ ، $\text{LnOP}_t(\omega_2)$ ، $\text{LnOP}_t(\omega_3)$ ، $\text{LnOP}_t(\omega_4)$ و $\text{LnOP}_t(\omega_5)$ پنج مجموع جزئی را نشان می‌دهد که در پنجک‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ تغییرات قیمت نفت با ۴ آستانه که به ترتیب با τ_{20} ، τ_{40} ، τ_{60} و τ_{80} نشان داده شده است، تنظیم و به صورت روابط زیر استخراج می‌شوند:

$$\text{LnOP}_t(\omega_1) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i(\omega_1) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i I(\Delta \text{LnOP}_i \leq \tau_{20}) \quad (6)$$

$$\text{LnOP}_t(\omega_2) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i(\omega_2) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i I(\tau_{20} < \Delta \text{LnOP}_i \leq \tau_{40}) \quad (7)$$

$$\text{LnOP}_t(\omega_3) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i(\omega_3) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i I(\tau_{40} < \Delta \text{LnOP}_i \leq \tau_{60}) \quad (8)$$

$$\text{LnOP}_t(\omega_4) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i(\omega_4) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i I(\tau_{60} < \Delta \text{LnOP}_i \leq \tau_{80}) \quad (9)$$

$$\text{LnOP}_t(\omega_5) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i(\omega_5) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i I(\Delta \text{LnOP}_i > \tau_{80}) \quad (10)$$

که در رابطه فوق، $I(.)$ یک تابع شاخص (نماینده، معرف) است که وقتی شرایط بیان شده در $(.)$ برآورده و تأمین شود، برابر با مقدار عددی «یک» و در غیراین صورت، برابر «صفر» است (پال و میترا، ۲۰۱۵: ۳۱۸).

مدل MTNARDL نیز از مزیت‌های مدل ARDL و NARDL برخوردار است. از جمله اینکه با متغیرهای مانا از درجه «صفر» و «یک» قابل استفاده می‌باشد و امکان برآورد همزمان پارامترهای بلندمدت و کوتاه‌مدت را فراهم می‌کند. علاوه بر این، مدل MTNARDL همانند مدل NARDL

به‌منظور تحلیل غیرخطی و عدم تقارن بین متغیرهای مدل دارای قابلیت مهمی است؛ اما برتری مدل MTNARDL نسبت به مدل NARDL در آن است که میزان تأثیرپذیری متغیر وابسته را از مقادیر شدید، متوسط و اندک متغیر مستقل شناسایی می‌کند (بیپهاتو و چانگ، ۲۰۱۹). همچنین، این روش می‌تواند با فرکانس بالا و غیرنرمال بودن داده‌ها و ویژگی تغییر پارامترهای برآوردی در طول زمان در داده‌های سری زمانی مقابله کند (اکره و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، این مدل، یک محدودیت مهم دارد که در آن، اندازه نمونه مورد استفاده برای برآورد، با افزایش تعداد آستانه، کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، یک آستانه واحد، نمونه برآوردی را به دو نیمه تقسیم می‌کند؛ چهار آستانه باعث می‌شود که حجم نمونه برآوردی به یک - پنجم نمونه اولیه، کاهش یابد که این موضوع، دقت برآوردها را کاهش می‌دهد.

محدودیت دیگر این مدل، آن است که همانند مدل‌های ARDL و NARDL قابلیت استفاده برای مدل‌های برخوردار از متغیرهای دارای درجه مانایی بیش از یک (I(1)) نیست؛ بنابراین، قبل از تجزیه و تحلیل و برآورد بایستی آزمون ریشه واحد انجام شود (لی و گو، ۲۰۲۲: ۱۳۸۲). مدل MTNARDL که توسط پال و میترا (۲۰۱۵: ۴؛ ۲۰۱۶) پیشنهاد شده است، تأثیر تغییرات اساسی، متوسط و حداقلی در متغیر برونزا را بر متغیر وابسته در نظر می‌گیرد؛ اما قادر به تعیین نوع این تغییرات (مثبت و یا منفی) و بررسی اثر متقارن نیست. در این راستا، اوچه و همکاران (Uche et al., 2022) مدل MTNARDL را با تفکیک تکانه‌های مثبت و منفی، به آستانه‌های چندگانه و نام‌گذاری این مدل توسعه‌یافته به مدل ARDL غیرخطی چند آستانه‌ای نامتقارن (MATNARDL)، گسترش دادند. این مدل، کمک می‌کند تا تأثیر تکانه‌های منفی جزئی تا عمده و تکانه‌های مثبت جزئی تا عمده در متغیر توضیحی را بر متغیر وابسته بررسی کنیم (چانگ و همکاران، ۲۰۲۲: ۴). بر این اساس، متغیر LnOP به سه سری تکانه مثبت و سه سری تکانه منفی، به‌صورت زیر تجزیه می‌شود:

$$\text{LnOP}_t^+ = \text{LnOP}_0^+ + \text{LnOP}_t^+(\omega_1) + \text{LnOP}_t^+(\omega_2) + \text{LnOP}_t^+(\omega_3) \quad (11)$$

$$\text{LnOP}_t^- = \text{LnOP}_0^- + \text{LnOP}_t^-(\omega_1) + \text{LnOP}_t^-(\omega_2) + \text{LnOP}_t^-(\omega_3) \quad (12)$$

در رابطه فوق، $\text{LnOP}_t^+(\omega_1)$ ، $\text{LnOP}_t^+(\omega_2)$ و $\text{LnOP}_t^+(\omega_3)$ سه سری مجموع جزئی تکانه‌های مثبت قیمت نفت در آستانه‌های τ_{30} و τ_{70} و $\text{LnOP}_t^-(\omega_1)$ ، $\text{LnOP}_t^-(\omega_2)$ و $\text{LnOP}_t^-(\omega_3)$ سه سری مجموع جزئی تکانه‌های منفی قیمت نفت در آستانه‌های τ_{30} و τ_{70} می‌باشند که به‌صورت روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{LnOP}_t^+(\omega_1) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+(\omega_1) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+ I(\Delta \text{LnOP}_i^+ \leq \tau_{30}) \quad (13)$$

1. Bhutto & Chang (2019)
2. Okere et al. (2023)
3. Li & Gou (2022)
4. Chang et al. (2022)

$$\text{LnOP}_t^+(\omega_2) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+(\omega_2) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+ I(\tau_{30} < \Delta \text{LnOP}_i^+ \leq \tau_{70}) \quad (14)$$

$$\text{LnOP}_t^+(\omega_3) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+(\omega_3) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^+ I(\Delta \text{LnOP}_i^+ > \tau_{70}) \quad (15)$$

9

$$\text{LnOP}_t^-(\omega_1) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^-(\omega_1) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^- I(\Delta \text{LnOP}_i^- \leq \tau_{30}) \quad (16)$$

$$\text{LnOP}_t^-(\omega_2) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^-(\omega_2) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^- I(\tau_{30} < \Delta \text{LnOP}_i^- \leq \tau_{70}) \quad (17)$$

$$\text{LnOP}_t^-(\omega_3) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^-(\omega_3) = \sum_{i=1}^t \Delta \text{LnOP}_i^- I(\Delta \text{LnOP}_i^- > \tau_{70}) \quad (18)$$

مدل NARDL دو آستانه‌ای نامتقارن را می‌توان با وارد کردن تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت خام در مقیاس‌های گوناگون در یک مدل ARDL اولیه، به‌صورت زیر مشخص کرد:

$$\begin{aligned} \Delta \text{LnLCF}_t = & \psi_0 + \psi_1 \text{LnLCF}_{t-1} + \psi_2 \text{LnGDP}_{t-1} \\ & + \psi_3 (\text{LnGDP}_{t-1})^2 + \psi_4 \text{LnEC}_{t-1} \\ & + \sum_{j=1}^p \psi_k^+ \text{LnOP}_{t-1}^+(\omega_j) + \sum_{j=1}^3 \psi_k^- \text{LnOP}_{t-1}^-(\omega_j) \\ & + \sum_{i=1}^p \eta_{1i} \Delta \text{LnLCF}_{t-i} + \sum_{i=0}^r \eta_{2i} \Delta \text{LnGDP}_{t-i} \\ & + \sum_{i=0}^s \eta_{3i} \Delta (\text{LnGDP}_{t-i})^2 + \sum_{i=0}^t \eta_{4i} \Delta \text{LnEC}_{t-i} \\ & + \sum_{j=1}^3 \sum_{i=0}^q (\eta_{ki}^+ \text{LnOP}_{t-i}^+(\omega_j) + \eta_{ki}^- \text{LnOP}_{t-i}^-(\omega_j)) \\ & + \epsilon_t \quad k = j + 4 \end{aligned} \quad (19)$$

در رابطه فوق ψ و η به‌ترتیب ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت متغیرهای مدل، ψ_0 عرض از مبدأ، ϵ جمله اخلاص و t, s, r, q, p تعداد وقفه‌های بهینه است که به کمک ضوابطی مانند آکائیک (AIC)، شوارتز-بیزین (SBC)، حنان-کوئین (HQC) و یا R^2 تعدیل‌شده، تعیین می‌شود. مقادیر با وقفه متغیر وابسته و مقادیر با وقفه و جاری متغیرهای مستقل نیز، پویایی‌های کوتاه‌مدت را نشان می‌دهند. به‌طور کلی، برآورد مدل به روش MATNARDL مستلزم انجام چند گام است که در شکل (۳) نشان داده شده است.

گام نخست: انجام تحلیل‌های اولیه و مقدماتی از قبیل بررسی آمار توصیفی متغیرهای مدل و روند حرکتی تک تک متغیرها طی دوره مورد بررسی.

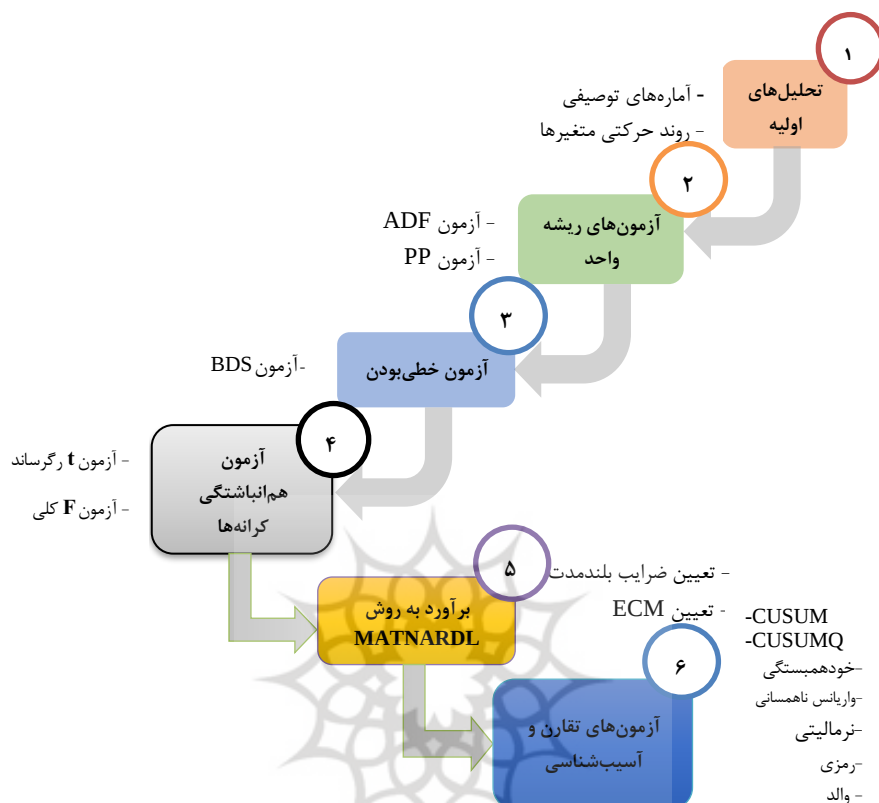
گام دوم: انجام آزمون ریشه واحد (مانایی). در صورت وجود متغیرهای مانا از درجه دو یعنی $I(2)$ یا بیشتر، مقدار آماره‌های t و F محاسبه شده به هنگام بررسی وجود رابطه هم‌انباشتگی، قابل اعتماد نمی‌باشند. همچنین، در صورتی که متغیر وابسته دارای درجه مانایی صفر باشد، انجام آزمون هم‌انباشتگی کرانه‌ها با محدودیت مواجه خواهد شد (سام و همکاران، ۱۳۹۰). در این راستا، با استفاده از دو آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم‌یافته^۲ (ADF) و فیلپس-پرون^۳ (PP)، مانایی متغیرها مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرضیه صفر این دو آزمون، نشانگر وجود ریشه واحد است.

گام سوم: انجام آزمون BDS (که وجه تسمیه آن بر اساس نام ارائه‌دهندگان این آزمون است)^۴. به این منظور، نخست یک مدل خودرگرسیون برداری^۵ (VAR) بین دو متغیر با توجه به وقفه بهینه، برآورد و سپس آزمون BDS بر روی پسماندهای مدل VAR به منظور بررسی استقلال آن‌ها انجام می‌شود و ساختار غیرخطی بین آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

گام چهارم: انجام آزمون کرانه‌ها برای بررسی هم‌انباشتگی (رابطه بلندمدت) بین متغیرهای مدل. تحلیل هم‌انباشتگی کرانه‌های پسران و همکاران^۶ (۲۰۰۱)، با استفاده از دو آزمون کلی کرانه‌های F و آزمون کرانه‌های t انجام می‌شود. در این تحلیل، دو کرانه بحرانی ارائه شده است؛ کرانه بالایی برای سری‌های زمانی $I(1)$ و کرانه پایینی برای سری‌های $I(0)$. چنانچه مقدار آماره‌های F و t محاسبه شده از مقدار کرانه بالایی بیشتر باشد، فرض صفر عدم هم‌انباشتگی رد می‌شود؛ و چنانچه مقدار F کمتر از کرانه پایینی باشد، فرض صفر رد نمی‌شود و در صورتی که آماره F درون محدوده‌ها قرار گیرد، نمی‌توان نتیجه‌ای گرفت؛ مگر اینکه، درجه انباشتگی متغیرها را بدانیم (پسران و همکاران، ۲۰۰۱: ۲۹۰). فرضیه صفر آزمون t بر روی سطح باوقفه متغیر وابسته و آزمون F کلی بر روی سطح باوقفه متغیرها، به ترتیب، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} H_0: \psi_1 &= 0 \\ H_0: \psi_1 &= \psi_2 = \psi_3 = \psi_4 = \psi_5^+ = \psi_6^+ = \psi_7^+ = \psi_5^- = \psi_6^- = \psi_7^- = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

1. Sam et al. (2019)
2. Augmented Dickey-Fuller (ADF)
3. Phillips-Perron (PP)
4. Brock, Dechert & Scheinkman (BDS)
5. Vector Autoregression (VAR)
6. Pesaran et al. (2001)



شکل ۳: مراحل روش تحقیق

Figure 3: Steps of the research method

مأخذ: یافته‌های پژوهش

گام پنجم: برآورد ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت به روش MATNARDL و همچنین برآورد عبارت تصحیح خطا (ECT).

گام ششم: بررسی استحکام ضرایب برآوردی، انجام آزمون‌های آسیب‌شناسی مدل و بررسی وجود رابطه نامتقارن در بلندمدت و کوتاه‌مدت. وجود رابطه نامتقارن در بلندمدت و کوتاه‌مدت، به‌وسیله آزمون والد مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرضیه صفر، وجود رابطه نامتقارن بلندمدت و کوتاه‌مدت در مدل MATNARDL، به‌صورت زیر است:

$$H_0: \psi_5^+ = \psi_6^+ = \psi_7^+ = \psi_5^- = \psi_6^- = \psi_7^- = 0$$

$$H_0: \sum_{i=0}^q \eta_{5i}^+ = \sum_{i=0}^q \eta_{6i}^+ = \sum_{i=0}^q \eta_{7i}^+ = \sum_{i=0}^q \eta_{5i}^- = \sum_{i=0}^q \eta_{6i}^- = \sum_{i=0}^q \eta_{7i}^- \quad (21)$$

شایان ذکر است که در این پژوهش، به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری و اقتصادسنجی، از نرم‌افزارهای Excel و Eviews استفاده شده است.

۴. نتایج تجربی

۴-۱. تحلیل‌های اولیه

در جدول (۲)، خلاصه آماری داده‌های خام متغیرهای پژوهش نشان داده شده است. بر این اساس، طی دوره مورد بررسی پژوهش، میانگین ضریب ظرفیت بار (LCF) حدود ۰/۶۸، میانگین قیمت نفت خام (OP) حدود ۳۱/۶۶ دلار آمریکا در هر بشکه، میانگین تولید ناخالص داخلی سرانه (GDP) حدود ۴۵۱۲ دلار آمریکا و میانگین سرانه مصرف انرژی (EC) حدود ۱۶۱۹/۷۴۴ کیلوگرم معادل نفتی بوده است. بر اساس مشخصه آماری انحراف استاندارد، بیشترین میزان پراکندگی بین داده‌ها متعلق به متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه و مصرف انرژی است (که البته چون داده‌ها به‌صورت لگاریتم طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، این پراکندگی تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد) و کمترین مقدار آن، به ضریب ظرفیت بار اختصاص دارد. همچنین، بر اساس آماره جارک-برا و سطح احتمال آن، می‌توان گفت که متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه و سرانه مصرف انرژی، از توزیع نرمال و متغیرهای ضریب ظرفیت بار (متغیر وابسته مدل) و قیمت نفت، از توزیع غیرنرمال برخوردارند.

جدول ۲: خلاصه آماری متغیرهای پژوهش

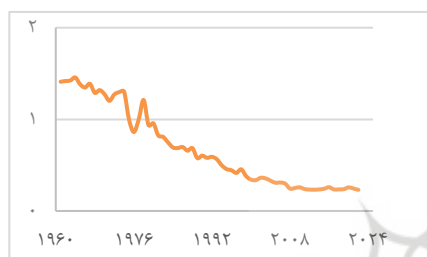
Table 2: Statistical summary of research variables

متغیر				آماره
EC	GDP	OP	LCF	
۱۶۱۹/۷۴۴	۴۵۱۲/۴۲۶	۳۱/۶۵۷	۰/۶۸۴	میانگین
۱۴۱۰/۱۷۶	۴۴۱۸/۲۷۷	۲۰/۲۹۱	۰/۵۷۸	میانه
۲۹۶۴/۸۶۰	۷۶۲۲/۳۴۵	۱۰۹/۴۵۰	۱/۴۵۸	ماکسیمم
۵۴۰/۸۱۴۷	۲۳۴۸/۴۳۰	۱/۲۱۰	۰/۲۳۱	مینیمم
۷۳۱/۱۱۱۹	۱۱۸۷/۹۹۲	۳۰/۷۱۸	۰/۴۲۸	انحراف استاندارد
۰/۴۳۲	۰/۴۴۵	۱/۱۴۷	۰/۵۵۶	چولگی
۱/۸۶۳	۲/۷۵۹	۳/۳۳۵	۱/۸۱۱	کشیدگی
۳/۷۳۶	۲/۳۳۱	۱۴/۱۰۸	۶/۸۵۴	جارک-برا
۰/۱۵۴	۰/۳۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۳۲	احتمال
۶۲	۶۲	۶۲	۶۲	تعداد مشاهدات

* آماره جارک-برا وضعیت نرمال بودن را بررسی می‌کند و سطح احتمال آن، نشان‌دهنده فرضیه صفر نرمال بودن است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

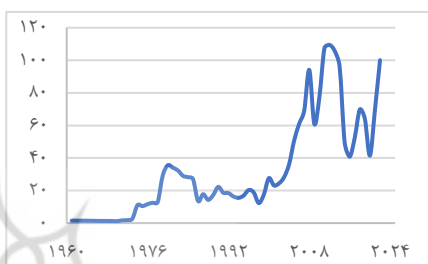
شکل (۳)، روند حرکتی متغیر قیمت نفت اوپک را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، می‌توان مشاهده کرد که قیمت نفت اوپک، قبل از سال ۲۰۰۱ در سطح پائین و دارای نوسانات اندکی بوده، اما بعد از این سال، از یک روند صعودی برخوردار شده و در سال ۲۰۱۲، به اوج خود رسیده و بعد از

آن، نزولی شده است. شکل (۴) نیز روند حرکتی شاخص پایداری زیست محیطی ضریب ظرفیت بار (LCF) را در ایران طی سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۲۲ نشان می‌دهد. بر این اساس، به‌طور کلی طی دوره مورد بررسی، یک روند نزولی داشته، و مقدار عددی آن از سال ۱۹۷۹ همواره کوچک‌تر از سطح آستانه پایداری (عدد یک) بوده، که این موضوع حکایت از آن دارد که تخریب محیط زیست در ایران به سطوح ناپایدار خود رسیده و این ناپایداری در حال افزایش است. مقدار LCF که در سال ۱۹۶۱، حدود ۱/۴۱۰ بوده، در سال ۲۰۲۲ به مقدار ۰/۲۳۱ کاهش یافته است که نشان می‌دهد عرضه موجود منابع طبیعی در ایران برای حفظ الگوهای تولید و مصرف فعلی، کافی نیست.



شکل ۴: روند حرکتی ضریب ظرفیت بار (LCF) در ایران (۱۹۶۱-۲۰۲۲)

Figure 4: The trend of the load capacity factor (LCF) in Iran (1961-2022)



شکل ۳: روند حرکتی قیمت نفت اوپک (۱۹۶۱-۲۰۲۲)

Figure 3: The trend of the OPEC oil price (1961-2022)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در جدول (۳) با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش روش تحقیق، حدود تغییرات تکانه‌های مثبت و منفی لگاریتم طبیعی قیمت نفت در هر کوانتایل (کوانتایل نخست: مقیاس کوچک، کوانتایل دوم: مقیاس متوسط و کوانتایل سوم: مقیاس بزرگ)، با توجه به مقدار حد آستانه تغییرات لگاریتم طبیعی قیمت نفت، ارائه شده است. به‌طور مثال، در کوانتایل نخست که در آن، مقیاس تکانه، کوچک است، حد آستانه تغییرات لگاریتم طبیعی قیمت نفت برای تکانه مثبت حدود ۰/۱۲۳ و برای تکانه منفی حدود ۰/۳۸- برآورد شده است؛ به این معنا که چنانچه تغییرات لگاریتم طبیعی قیمت نفت، مثبت (منفی) و کمتر (بیشتر) از مقدار ۰/۱۲۳ (۰/۳۸-) باشد، در مقیاس تکانه‌های کوچک دسته‌بندی می‌شود. بر این اساس، در شکل (۵) روند حرکتی تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت (به‌صورت مجموع تجمعی) در کوانتایل‌های مختلف طی دوره مورد بررسی ترسیم شده است. در جدول (۴) نیز تعداد سال‌های وقوع تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت در مقیاس‌های مختلف ارائه شده است. بر این اساس طی ۶۲ سال مورد بررسی تحقیق، ۳۱ تکانه مثبت (۳۱ تکانه منفی) قیمت نفت رخ داده است که از این تعداد تکانه، ۸ تکانه (۹ تکانه) آن در مقیاس کوچک، ۱۳ تکانه (۱۳ تکانه) در مقیاس متوسط و ۱۰ تکانه (۹ تکانه) در مقیاس بزرگ بوده است.

جدول ۳: حدود تغییرات تکانه‌های مثبت و منفی لگاریتم طبیعی قیمت نفت در هر کوانتایل

Table 3: The range of changes in positive and negative impulses of the natural logarithm of oil prices in each quantile

حدود تغییرات تکانه‌ها در هر کوانتایل		حد آستانه تغییرات لگاریتم طبیعی قیمت نفت			مقیاس تکانه	کوانتایل
تکانه منفی	تکانه مثبت	تکانه منفی	تکانه مثبت	نماد		
$\Delta \text{LnOP}_i^- \geq -0.038$	$\Delta \text{LnOP}_i^+ \leq 0.123$	-۰/۰۳۸	۰/۱۲۳	T_{30}	کوچک	ω_1
$-0.177 \leq \Delta \text{LnOP}_i^- < -0.038$	$0.123 < \Delta \text{LnOP}_i^+ \leq 0.328$	-۰/۱۷۷	۰/۳۲۸	T_{70}	متوسط	ω_2
$\Delta \text{LnOP}_i^- < -0.177$	$\Delta \text{LnOP}_i^+ > 0.328$				بزرگ	ω_3

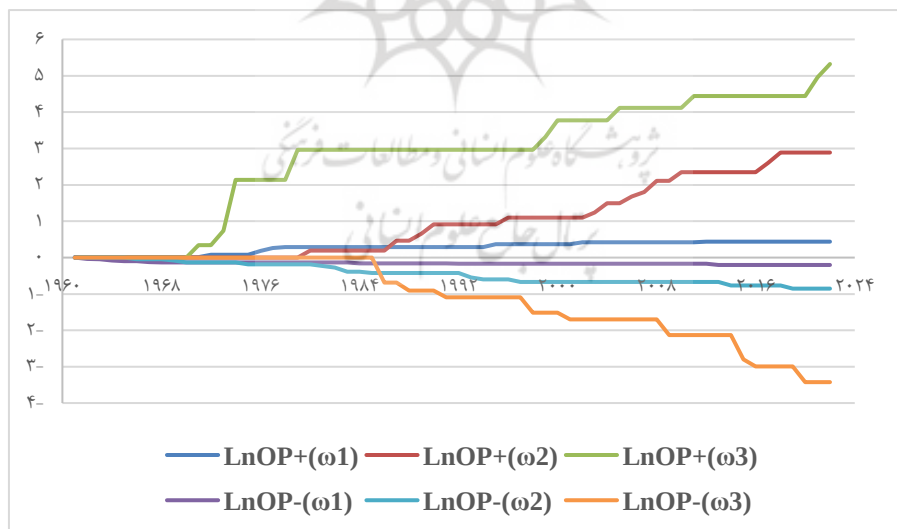
منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۴: تعداد سال‌های وقوع تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت در مقیاس‌های مختلف

Table 4: Number of years of positive and negative oil price impulses on different scales

تعداد سال (تکانه مثبت)	تعداد سال (تکانه مثبت)	مقیاس تکانه
۹	۸	کوچک
۱۳	۱۳	متوسط
۹	۱۰	بزرگ
۳۱	۳۱	کل

مأخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۵: روند حرکتی مجموع تجمعی تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت اوپک در

کوانتایل‌های مختلف (۱۹۶۱-۲۰۲۲)

Figure 5: The trend of the cumulative sum of positive and negative OPEC oil price shocks in different quantiles (1961-2022)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۲-۴. آزمون ریشه واحد

در جدول (۵)، خلاصه نتایج آزمون‌های ریشه واحد ADF و PP با وجود متغیرهای عرض از مبدأ و روند زمانی، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سطح ۵ درصد، کلیه متغیرهای مدل (بجز متغیر تکانه‌های منفی قیمت نفت در مقیاس کوچک) بر اساس هر دو آزمون، در سطح نامانای می‌باشند و پس از یک‌بار تفاضل‌گیری، به‌صورت مانا درآمده‌اند. بنابراین، به‌دلیل عدم مانایی متغیرهای مورد استفاده از یک درجه (یعنی $I(0)$ و $I(1)$ بودن متغیرها) و با توجه به اینکه هیچ‌کدام از متغیرهای مدل مانا از درجه دو یعنی $I(2)$ نیستند و همچنین متغیر وابسته مدل $I(0)$ نیست، می‌توان از آزمون هم‌انباشتگی کرانه‌ها برای بررسی وجود و یا فقدان رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل استفاده کرد.

جدول ۵: نتایج آزمون‌های ریشه واحد ADF و PP

Table 5: Results of the ADF and PP unit root tests

درجه مانایی	آزمون PP		آزمون ADF		متغیر
	Prob.	آماره	Prob.	آماره	
I(1)	۰/۱۵۴	-۲/۹۵۳	۰/۱۴۵	-۲/۹۸۴	LnLCF
	۰/۰۰۰	***-۱۱/۶۷۹	۰/۰۰۰	***-۷/۱۱۴	$\Delta(\text{LnLCF})$
I(1)	۰/۴۵۹	-۲/۲۴۲	۰/۳۴۹	-۲/۴۵۵	LnGDP
	۰/۰۰۴	***-۴/۴۴۹	۰/۰۰۴	***-۴/۴۴۲	$\Delta(\text{LnGDP})$
I(1)	۰/۴۷۴	-۲/۲۱۳	۰/۳۵۳	-۲/۴۴۷	LnGDP^2
	۰/۰۰۴	***-۴/۴۸۵	۰/۰۰۴	***-۴/۴۳۸	$\Delta(\text{LnGDP}^2)$
I(1)	۰/۰۹۳	*-۳/۲۲۹	۰/۰۷۵	*-۳/۳۳۴	LnEC
	۰/۰۰۰	***-۸/۶۲۹	۰/۰۰۰	***-۸/۸۳۲	$\Delta(\text{LnEC})$
I(1)	۰/۸۷۳	-۱/۳۲۲	۰/۹۱۹	-۱/۱۰۸	$\text{LnOP}_t^+(\omega_1)$
	۰/۰۰۰	***-۵/۹۹۵	۰/۰۰۰	***-۶/۱۰۲	$\Delta(\text{LnOP}_t^+(\omega_1))$
I(1)	۰/۰۸۳	-۱/۶۸۶	۰/۷۶۸	-۱/۶۳۳	$\text{LnOP}_t^+(\omega_2)$
	۰/۰۰۰	***-۶/۴۷۵	۰/۰۰۰	***-۶/۵۷۳	$\Delta(\text{LnOP}_t^+(\omega_2))$
I(1)	۰/۷۳۱	-۱/۷۱۸	۰/۷۷۷	-۱/۶۱۱	$\text{LnOP}_t^+(\omega_3)$
	۰/۰۰۰	***-۶/۶۴۹	۰/۰۰۰	***-۶/۶۴۹	$\Delta(\text{LnOP}_t^+(\omega_3))$
I(0)	۰/۰۰۰	***-۶/۴۷۲	۰/۰۰۰	***-۶/۶۶۲	$\text{LnOP}_t^-(\omega_1)$
	-	-	-	-	$\Delta(\text{LnOP}_t^-(\omega_1))$
I(1)	۰/۶۶۷	-۱/۸۵۲	۰/۶۶۷	-۱/۸۵۲	$\text{LnOP}_t^-(\omega_2)$
	۰/۰۰۰	***-۷/۰۹۱	۰/۰۰۰	***-۷/۱۱۷	$\Delta(\text{LnOP}_t^-(\omega_2))$
I(1)	۰/۶۹۹	-۱/۷۸۶	۰/۶۰۹	-۱/۹۶۴	$\text{LnOP}_t^-(\omega_3)$
	۰/۰۰۰	***-۸/۹۰۹	۰/۰۰۰	***-۸/۳۸۸	$\Delta(\text{LnOP}_t^-(\omega_3))$

* وقفه انتخابی برای آماره آزمون ADF توسط معیار شوارتز با حداکثر طول ۱۰ وقفه، انتخاب و روش برآورد طیفی در آزمون PP، بارتلت کرنل و پهنای باند آن نوی-وست انتخاب شده است. علامت Δ ، به تفاضل و علامت ***، ** و * نیز به ترتیب، به معناداری در سطوح ۱، ۵ و ۱۰ اشاره دارد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۳-۴. آزمون BDS

در ادامه با استفاده از آزمون BDS فرض مستقل بودن متغیرها و ساختار غیرخطی بین آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج به دست آمده در جدول (۶)، آماره Z در این آزمون در درجه‌های ۲ تا ۶، سطح احتمال ۰/۰۰۰۰ را اختیار کرده و بنابراین در این ۵ درجه، فرض مستقل بودن متغیرها رد می‌شود که نشان‌دهنده احتمال وجود عدم تقارن و رابطه غیرخطی بین متغیرها است.

جدول ۶: نتایج آزمون BDS

Tabel 6: Results of the BDS test

درجه ۱	آماره BDS	انحراف معیار	آماره Z	Prob.
۲	۰/۱۰۳۱***	۰/۰۱۶۷	۶/۱۸۰۴	۰/۰۰۰۰
۳	۰/۱۸۷۸***	۰/۰۲۶۹	۶/۹۸۲۴	۰/۰۰۰۰
۴	۰/۲۲۵۷***	۰/۰۳۲۵	۶/۹۴۰۷	۰/۰۰۰۰
۵	۰/۳۳۰۶***	۰/۰۳۴۴	۶/۶۹۴۹	۰/۰۰۰۰
۶	۰/۲۱۲۸***	۰/۰۳۳۸	۶/۳۰۴۵	۰/۰۰۰۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش (علامت *** معناداری در سطح ۱ درصد است).

۴-۴. آزمون کرانه‌ها

پیش از برآورد مدل، بایستی وجود هم‌انباشتگی بین متغیرها در مدل MATNARDL تأیید شود. براساس نتایج جدول (۷)، مقدار آماره محاسبه شده در هر دو آزمون t و F از مقادیر بحرانی کرانه بالایی این آزمون‌ها در هر سه سطح احتمال یک، پنج و ده درصد بزرگ‌تر است؛ که این موضوع نشانگر وجود رابطه تعادلی بلندمدت قوی بین متغیرهای مدل است.

جدول ۷: نتایج آزمون هم‌انباشتگی کرانه‌ها

Tabel 7: Results of the bounds cointegration test

نام آزمون	مقدار آماره آزمون	کرانه پایین I(0)						کرانه بالا I(1)		
		مقادیر بحرانی پسران و همکاران (۲۰۰۱)								
		۱۰٪	۵٪	۱٪	۱۰٪	۵٪	۱٪	۱۰٪	۵٪	۱٪
آزمون کرانه‌های t رگرساند	-۶/۲۶۸***	-۲/۵۷	-۲/۸۶	-۳/۴۲	-۴/۵۶	-۴/۸۸	-۵/۵۴			
آزمون کلی کرانه‌های F	۷/۷۰۷***	۱/۸۸	۲/۱۴	۲/۶۵	۲/۹۹	۳/۳۰	۳/۹۷			

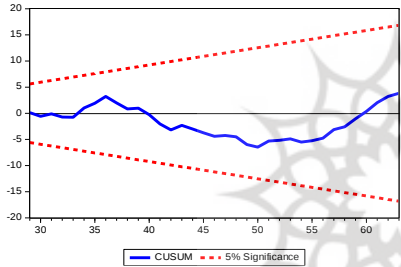
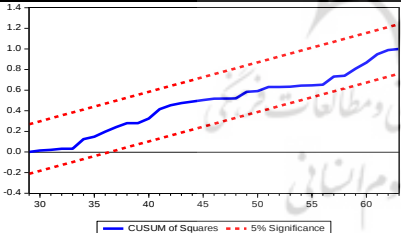
مأخذ: یافته‌های پژوهش (علامت *** معناداری در سطح ۱ درصد است).

۴-۵. برآورد مدل به روش MATNARDL

در جدول (۸) نتایج برآورد مدل نامتقارن با استفاده از رویکرد MTANARDL نشان داده شده است.

جدول ۸: نتایج برآورد مدل به روش MATNARDL

Table 8: Results of the model estimation using the MATNARDL method

متغیر		ضریب	prob.	آزمون‌های تفران و آسیب‌شناسی	
		ضرایب بلندمدت		نام آزمون	مقدار آماره
LnGDP		۰/۷۳۵***	۰/۰۰۰	Adjusted R ²	۰/۹۹۶
LnGDP ²		۰/۱۵۹**	۰/۰۱۱	نرمالیتی	۰/۹۶۷
LnEC		۰/۵۵۲***	۰/۰۰۰	خودهمبستگی	۰/۷۵۶
LnOP ⁺ (ω ₁)		۰/۸۴۷*	۰/۰۸۵	واریانس ناهمسانی	۰/۵۱۲
LnPS ⁺ (ω ₂)		۰/۲۷۴****	۰/۰۰۰	فرم تبعی مناسب	۱/۶۲۴
LnOP ⁺ (ω ₃)		۰/۲۰۶***	۰/۰۰۰	W _{LR}	۱۲/۶۶۹***
LnOP ⁺ (ω ₁)		۳/۱۸۴**	۰/۰۲۱	W _{SR}	۹/۹۰۸***
LnOP ⁺ (ω ₂)		۱/۶۹۲***	۰/۰۰۰	CUSUM	
LnPS ⁺ (ω ₃)		۰/۰۲۵	۰/۵۹۸		
Constant		۱۱/۷۷۶	۰/۴۰۷		
ضرایب کوتاه‌مدت					
ECT		۱/۶۶۲***	۰/۰۰۰		
ΔLnGDP		۴/۶۶۸***	۰/۰۰۰		
ΔLnGDP ²		۰/۳۰۹**	۰/۰۴۵		
ΔLnEC		۱/۰۷۹***	۰/۰۰۰		
ΔLnOP ⁺ (ω ₁)		۰/۲۹۳	۰/۳۸۸		
ΔLnPS ⁺ (ω ₂)		۰/۲۱۴*	۰/۰۹۲		
ΔLnPS ⁺ (ω ₃)		۰/۱۳۸**	۰/۰۲۸		
ΔLnOP ⁺ (ω ₁)		۱/۵۸۶	۰/۱۱۶		
ΔLnPS ⁻ (ω ₂)		۱/۲۶۹**	۰/۰۲۳		
ΔLnPS ⁻ (ω ₃)		۰/۰۷۹*	۰/۰۸۲		
Constant		۱۹/۵۷۲	۰/۴۱۴		

مأخذ: یافته‌های پژوهش (علائم ***, **, * و * به ترتیب نشانگر معناداری در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد است).

اثر تکنانه‌های مثبت قیمت نفت در مقیاس کوچک ($\text{LnOP}^+(\omega_1)$) بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت، مثبت (با ضریب ۰/۸۴۷) و در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار، اما این اثرگذاری در کوتاه‌مدت بی‌معنا است. این نتیجه به آن معنی است که افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های کوچک یعنی زمانی که تغییرات مثبت در لگاریتم طبیعی قیمت نفت کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱۲۳ است، به افزایش پایداری زیست‌محیطی در ایران می‌انجامد. در مقابل، اثر تکنانه‌های منفی قیمت نفت در مقیاس کوچک ($\text{LnOP}^-(\omega_1)$) بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت، منفی (با ضریب -۳/۱۸۴) و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار، اما این اثرگذاری همانند شوک مثبت، در کوتاه‌مدت بی‌معنا است. این نتیجه به آن معنا است که کاهش قیمت نفت در مقیاس‌های کوچک یعنی زمانی که قدرمطلق

تغییرات منفی در لگاریتم طبیعی قیمت نفت کوچک‌تر یا مساوی ۰/۳۸ است، به کاهش پایداری زیست‌محیطی منجر می‌شود.

بر اساس این نتایج، به‌نظر می‌رسد که افزایش (کاهش) قیمت نفت در مقیاس‌های کوچک با افزایش (کاهش) سرمایه‌گذاری در منابع انرژی سازگار با محیط‌زیست و بهبود تکنولوژی‌های زیست‌محیطی به افزایش (کاهش) پایداری و کیفیت محیط‌زیست در کشور کمک کند. در واقع، افزایش قیمت نفت خام در مقیاس‌های کوچک، می‌تواند منبع مفیدی برای ارتقاء سطح پایداری محیط‌زیست در ایران باشد.

اثر تکانه‌های مثبت قیمت نفت در مقیاس متوسط ($\text{LnOP}^+(\omega_2)$) بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت و کوتاه‌مدت، منفی (به‌ترتیب، با ضریب $-0/274$ و $-0/214$) و به‌ترتیب، در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۰ درصد معنادار است. این نتیجه به آن معنا است که افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های متوسط یعنی زمانی که تغییرات مثبت در لگاریتم طبیعی قیمت نفت بین دو عدد $0/123$ و $0/328$ است، به افزایش ناپایداری زیست‌محیطی در ایران می‌انجامد. در مقابل، اثر تکانه‌های منفی قیمت نفت در مقیاس متوسط ($\text{LnOP}^-(\omega_2)$) بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت و کوتاه‌مدت، مثبت (به‌ترتیب، با ضریب $1/692$ و $1/296$) و به‌ترتیب، در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد معنادار است. این نتیجه به آن معنا است که کاهش قیمت نفت در مقیاس‌های متوسط یعنی زمانی که قدرمطلق تغییرات منفی در لگاریتم طبیعی قیمت نفت بین $0/038$ و $0/177$ است، به افزایش پایداری زیست‌محیطی منجر می‌شود.

اثر تکانه‌های مثبت قیمت نفت در مقیاس بزرگ ($\text{LnOP}^+(\omega_3)$) بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت و کوتاه‌مدت، منفی (به‌ترتیب، با ضریب $-0/206$ و $-0/138$) و به‌ترتیب، در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد معنادار است. این نتیجه به آن معنا است که افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های بزرگ یعنی زمانی که تغییرات مثبت در لگاریتم طبیعی قیمت نفت بزرگ‌تر از $0/328$ است، به افزایش ناپایداری زیست‌محیطی در ایران می‌انجامد.

در مقابل، اثر تکانه‌های منفی قیمت نفت در مقیاس بزرگ ($\text{LnOP}^-(\omega_3)$)، بر ضریب ظرفیت بار در بلندمدت، بی‌معنا و در کوتاه‌مدت، مثبت (با ضریب $0/079$) و در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است. این نتیجه به آن معنا است که کاهش قیمت نفت در مقیاس بزرگ یعنی زمانی که قدرمطلق تغییرات منفی در لگاریتم طبیعی قیمت نفت بزرگ‌تر از $0/177$ است، به افزایش پایداری زیست‌محیطی در کوتاه‌مدت منجر می‌شود. بر اساس این نتایج، به‌نظر می‌رسد که افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های متوسط و بزرگ، با افزایش فعالیت‌های اقتصادی و اولویت بخشیدن به دستاوردهای اقتصادی، بر نگرانی‌های زیست‌محیطی به افزایش تخریب و ناپایداری محیط‌زیست منجر می‌گردد.

به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده در زمینه تأثیر نامتقارن قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار در ایران به‌عنوان یک کشور صادرکننده نفت به‌گونه‌ای تأییدکننده نتایج مطالعات تجربی گذشته و رفع تناقض‌های موجود بین آنها است. به‌طور مثال عبید و همکاران (۲۰۲۲)، نشان داده‌اند که تکانه‌های

مثبت قیمت نفت از نظر آماری، اثر منفی معنی‌داری بر انتشار CO₂ دارند؛ در حالی که تکانه‌های منفی قیمت نفت بر انتشار CO₂ تأثیری نداشته است.

در مقابل، دجایت و همکاران (۲۰۲۴)، نشان می‌دهند که ضریب ظرفیت بار به‌طور منفی تحت تأثیر تکانه‌های مثبت (افزایشی) قیمت نفت قرار می‌گیرد. نتایج پژوهش حاضر همانند نتایج عبید و همکاران (۲۰۲۲)، نشان می‌دهد که تکانه‌های مثبت قیمت نفت از نظر آماری، اثر مثبت و معناداری بر کیفیت محیط زیست دارند؛ اما تکانه‌های در مقیاس کوچک و همانند نتایج مطالعه دجایت و همکاران (۲۰۲۴)، نشان می‌دهد که ضریب ظرفیت بار به‌طور منفی تحت تأثیر تکانه‌های مثبت (افزایشی) قیمت نفت قرار می‌گیرد؛ اما تکانه‌های در مقیاس متوسط و بزرگ. بر این اساس، می‌توان گفت که استفاده از رویکرد MATNARDL نتایج دقیق‌تر و جزئی‌تری در زمینه موضوع تحقیق در پی دارد.

ضریب لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه (LnGDP) در بلندمدت و کوتاه‌مدت، منفی و در سطح اطمینان بالایی معنادار است. علامت منفی این ضریب، نشانگر قسمت نزولی منحنی LCC در کوتاه‌مدت و بلندمدت است و بیان می‌کند که افزایش درآمد سرانه و رشد اقتصادی در کشور، در مراحل ابتدایی توسعه، با افزایش ضریب ظرفیت بار (نسبت ظرفیت زیستی به ردپای اکولوژیکی) و ناپایداری محیط‌زیست همراه است. علامت مثبت برآوردی ضریب مجذور لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه (LnGDP²) در بلندمدت و کوتاه‌مدت نیز، نشانگر قسمت صعودی منحنی LCC در کوتاه‌مدت و بلندمدت است و بیان می‌کند که بعد از عبور از نقطه آستانه (مینیمم) این منحنی، رابطه رشد اقتصادی و LCF در مسیر صعودی قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن توأم ضریب متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه و مجذور آن، فرضیه منحنی ظرفیت بار (به‌معنای رابطه U شکل بین رشد اقتصادی و LCF) در ایران تأیید می‌شود.

بر این اساس، می‌توان نقطه بازگشت این منحنی را در بلندمدت، یعنی سطح درآمد سرانه‌ای که در آن LCF به حداقل خود رسیده (حداکثر ناپایداری و فشار بر محیط‌زیست) و از آن سطح به بعد با افزایش درآمد، LCF افزایش می‌یابد، به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$GDP^* = \exp\left(-\frac{\psi_2}{2\psi_3}\right) = \exp\left(-\frac{-2.735}{2(0.159)}\right) = 5431\$$$

با توجه به اینکه متوسط درآمد سرانه در ایران طی دوره مورد بررسی حدود ۴۵۱۲ دلار بوده، می‌توان گفت که کشور ایران به‌طور کلی، روی قسمت نزولی منحنی LCC قرار داشته است؛ اما با عنایت به این موضوع که میزان درآمد سرانه ایران بر اساس اطلاعات آماری آخرین سال این پژوهش، در سال ۲۰۲۲ حدود ۵۵۰۸ دلار بوده، بنابراین، موقعیت ایران در منحنی LCF نزدیک به نقطه بازگشت (مینیمم) و در ابتدای قسمت صعودی قرار دارد و در سال‌های آتی، ممکن است با افزایش درآمد سرانه، به‌دلیل حرکت در قسمت صعودی این منحنی، پایداری زیست‌محیطی افزایش یابد.

نتیجه به‌دست‌آمده مبنی بر تأیید فرضیه زیست‌محیطی LCC در ایران همسو با نتایج مطالعات سان و همکاران (۲۰۲۳) برای چین، پاتا و کارتال^۱ (۲۰۲۳) برای کره جنوبی، دام و سارکودی^۲ (۲۰۲۳) و کاگلار و همکاران^۳ (۲۰۲۴) برای ترکیه، پاتا و ارطوغرول (۲۰۲۳) برای هند و فانگ و همکاران (۲۰۲۴) برای تایلند است.

تأثیرگذاری بلندمدت و کوتاه‌مدت سرانه مصرف انرژی (LnEC)، منفی و در سطح اطمینان بالایی معنادار می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش یک‌درصدی در سرانه مصرف انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت، ضریب ظرفیت بار در کشور، به‌ترتیب حدود ۰/۵۵ و ۱/۰۸ درصد کاهش می‌یابد. این نتیجه، نشان می‌دهد که اثر کوتاه‌مدت مصرف انرژی در تخریب و ناپایداری محیط‌زیست در ایران، از اثر بلندمدت آن بزرگ‌تر می‌باشد (حدود دو برابر). مصرف انرژی با شاخص‌های تخریب محیط‌زیست، رابطه مستقیم دارد و هر چه مصرف انرژی افزایش یابد، به تبع آن، آلودگی‌های ناشی از آن بیشتر شده و اثرات زیست‌محیطی منفی به‌دنبال دارد.

با توجه به مقدار ضریب تصحیح خطا (ECT)، اگر مقدار به‌دست‌آمده آن، بین دو عدد صفر و -۱ باشد، همگرایی نمایی و اگر مقدار آن بین دو عدد -۱ و -۲ باشد، همگرایی سینوسی وجود خواهد داشت. همچنین، اگر مقدار ضریب تصحیح خطا کوچک‌تر از -۲ باشد، واگرایی سینوسی و اگر مقدار به‌دست‌آمده بزرگ‌تر از صفر باشد، واگرایی نمایی وجود دارد. بر این اساس، مقدار ECT حدود ۱/۶۶- محاسبه شده است که حاکی از وجود همگرایی سینوسی در مدل می‌باشد.

۴-۶. آزمون‌های تقارن و آسیب‌شناسی

نتایج آزمون‌های والد در قسمت چپ جدول (۸) که برای بررسی عدم تقارن بلندمدت و کوتاه‌مدت تکانه‌های قیمت نفت استفاده شده است (W_{LR} و W_{SR})، حاکی از آن است که فرضیه صفر برابری تکانه‌های مثبت و منفی قیمت نفت، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت در مدل MATNARDL، رد و رابطه نامتقارن، هم در بلندمدت و هم، در کوتاه‌مدت نتیجه‌گیری می‌شود.

بر اساس آزمون‌های تشخیصی نیز، مدل از لحاظ فروض کلاسیک با مشکلی روبه‌رو نیست و فرضیه‌های صفر مبنی بر واریانس همسانی، عدم وجود خودهمبستگی سریالی، توزیع نرمال و وجود فرم تبعی مناسب، رد نمی‌شود و بر این اساس، اعتبار نتایج به‌دست‌آمده تأیید می‌شود.

نتایج آزمون ثبات ساختاری CUSUM و CUSUMQ نیز نشان‌دهنده پایداری و استحکام مدل برآوردی در بلندمدت می‌باشد؛ چراکه نمودارهای پسماند تجمعی و مجذور آن، بین دو خط بحرانی در سطح ۵ درصد قرار گرفته است.

1. Pata & Katral (2023)
2. Dam & Sarkodie (2023)
3. Caglar et al. (2024)

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

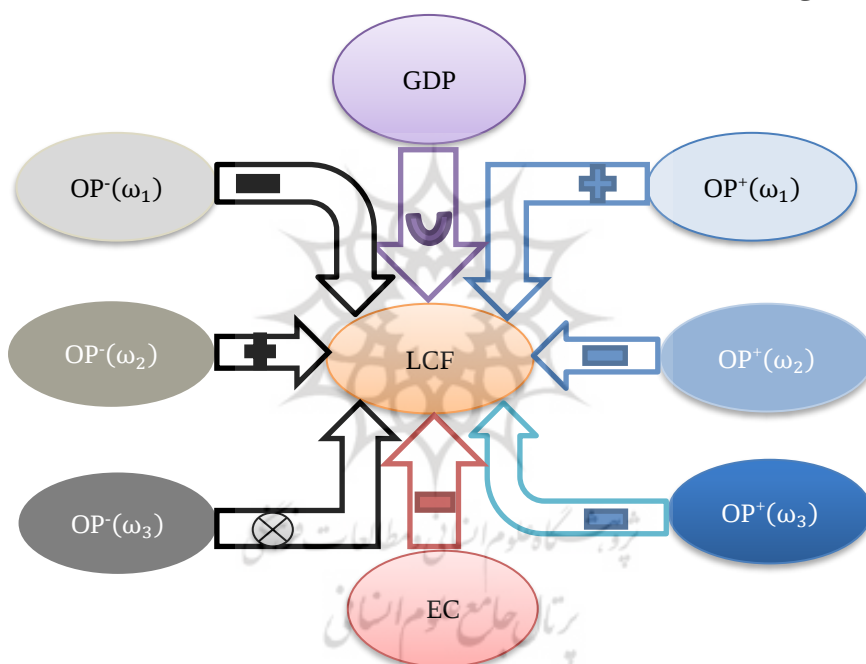
هدف اصلی از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر نامتقارن و غیرخطی تکانه‌های مقیاس‌بندی شده قیمت نفت بر شاخص کیفیت محیط‌زیست در ایران طی دوره زمانی ۲۰۲۲-۱۹۶۱ بوده است. به این منظور، از مفهوم جدید ضریب ظرفیت بار که به صورت نسبت ظرفیت زیستی به ردپای اکولوژیکی تعریف می‌شود، به عنوان شاخص پایداری زیست‌محیطی و متغیر وابسته مدل استفاده شده است. قیمت نفت خام نیز با تقسیم‌بندی آن به تکانه‌های مثبت و منفی در سه مقیاس کوچک (کوانتایل کمتر از آستانه τ_{30})، متوسط (کوانتایل بین آستانه‌های τ_{30} و τ_{70}) و بزرگ (کوانتایل بیشتر از آستانه τ_{70}) وارد مدل شده است.

درآمد سرانه و مجذور آن به منظور بررسی منحنی زیست‌محیطی ظرفیت بار (LLC) و سرانه مصرف انرژی، متغیرهای کنترل مدل تجربی را تشکیل می‌دهند. برآورد مدل نیز با به کارگیری رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی غیرخطی چند آستانه‌ای نامتقارن (MTANARDL) انجام شده است.

نتایج حاکی از آن است که در بلندمدت، تکانه‌های مثبت (منفی) قیمت نفت در مقیاس کوچک، اثر مثبت (منفی) و معناداری بر ضریب ظرفیت بار داشته است؛ در حالی که این تکانه‌ها در دو مقیاس متوسط و بزرگ، اثر منفی (مثبت) بر ضریب ظرفیت بار داشته‌اند. بر این اساس، می‌توان گفت که اثر قیمت نفت بر ضریب ظرفیت بار در ایران، نامتقارن است و در بین تکانه‌های مثبت، تنها با افزایش کوچکی در قیمت نفت، می‌توانیم شاهد افزایش ضریب ظرفیت بار و پایداری محیط‌زیست در کشور باشیم. افزایش متوسط و بزرگ در قیمت نفت نیز با اولویت بخشیدن به دستاوردها و فعالیت‌های اقتصادی بر مسائل زیست‌محیطی، به افزایش ناپایداری زیست‌محیطی می‌انجامد. بر اساس سایر نتایج، در کوتاه‌مدت و بلندمدت، مصرف انرژی، اثر منفی و معنادار بر ضریب ظرفیت بار داشته است.

همچنین، فرضیه زیست‌محیطی منحنی ظرفیت بار (LLC) در ایران تأیید می‌شود. به این معنا که رابطه رشد اقتصادی و ضریب ظرفیت بار در ایران به شکل U می‌باشد و موقعیت ایران در منحنی LCF نزدیک به نقطه بازگشت (مینیمم) و در ابتدای قسمت صعودی قرار دارد و در سال‌های آتی ممکن است با افزایش درآمد سرانه، به دلیل حرکت در قسمت صعودی این منحنی، پایداری زیست‌محیطی افزایش یابد. در شکل (۶)، خلاصه نتایج مدل MTANARDL نشان داده شده است. نتایج این پژوهش، توصیه‌های سیاستی مهم و خاصی را در زمینه تأثیر تکانه‌های نفتی با توجه به مقیاس و شدت تغییرات آن از بعد زیست‌محیطی به دنبال دارد. اگرچه افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های کوچک می‌تواند منبع مفیدی برای کمک به پایداری محیط‌زیست در کشور باشد؛ اما کاهش قیمت نفت در مقیاس‌های کوچک، با کاهش سرمایه‌گذاری در منابع انرژی سازگار با محیط‌زیست و تکنولوژی‌های زیست‌محیطی و افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های متوسط و بزرگ با افزایش فعالیت‌های اقتصادی و اولویت بخشیدن به دستاوردهای اقتصادی، بر نگرانی‌های زیست‌محیطی به افزایش ناپایداری زیست‌محیطی می‌انجامد.

بر این اساس، بخشی از درآمدهای حاصل از افزایش قیمت نفت، می‌باید با ایجاد صندوق‌های سبز، ذخیره گردد تا به هنگام مواجهه با کاهش‌های اندک قیمت نفت، صرف سرمایه‌گذاری در منابع انرژی سازگار با محیط‌زیست و تکنولوژی‌های زیست‌محیطی گردد. همچنین، بخش عمده‌ای از درآمدهای حاصل از افزایش قیمت نفت در مقیاس‌های متوسط و بزرگ، می‌باید بلافاصله به سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های مناسب و سازگار با محیط‌زیست اختصاص یابد. علاوه بر این، مالیات بیشتر از سوخت‌های فسیلی و یارانه‌های انرژی پاک به‌منظور کاهش تخریب محیط‌زیست در اثر افزایش فعالیت‌های اقتصادی، به‌هنگام افزایش‌های متوسط و بزرگ در قیمت نفت توصیه می‌شود.



شکل (۶): خلاصه نتایج مدل MTANARDL

Figure 6: Summary of MTANARDL model results

مأخذ: یافته‌های پژوهش

سپاسگزاری: نویسنده‌گان مقاله از داوران محترم که با نظرات ارزشمندشان باعث ارتقای سطح کیفی مقاله شدند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی وجود ندارد.

تعارض منافع: موردی وجود ندارد.

سهم نویسندگان در مقاله: نویسنده اول (۱۰۰ درصد).

منابع مالی / حمایت‌ها: وجود ندارد.

References

- Achuo, E. D. (2022). The nexus between crude oil price shocks and environmental quality: empirical evidence from Sub-saharan Africa. *SN Business & Economics*, 2(7). doi: 10.1007/s43546-022-00264-9
- Alizadeh, M., & Golkhandan, A. (2017). Investigating and comparing the asymmetric impact of oil price shocks on food prices in oil-exporting and oil-importing countries. *Economy and Regional Development*, 14: 121-147. [In Persian]
- Ayad, H., Ben-Salha, O., & Ouafi, M. (2023). Do oil prices predict the exchange rate in Algeria? Time, frequency, and time-varying Granger causality analysis. *Econ. Change Restrict.* 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10644-023-09545-1>
- Bhutto, N.A., & Chang, B.H. (2019). The effect of the global financial crisis on the asymmetric relationship between exchange rate and stock prices. *High Frequency*, 2(3-4): 175-183. doi:10.1002/hf2.10033
- Cao, H., Sun, P., & Guo, L. (2020). The asymmetric effect of oil price uncertainty on corporate investment in China: Evidence from listed renewable energy companies. *Front. Energy Research*. 8: 47. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00047>
- Cashin, P., Mohaddes, K., Raissi, M., & Raissi, M. (2014). The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy. *Energy Economics*, 44: 113-134.
- Chang, B.H., Derindag O.F., Hacievliyagil, N., & Mehmet Canakci, M. (2022). Exchange rate response to economic policy uncertainty: Evidence beyond asymmetry. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1): 358. doi: 10.1057/s41599-022-01372-5
- Daliri, H. (2020). Relationship between ecological footprint and economic growth in D8 countries: Testing the Kuznets environmental hypothesis using PSTR model. *The Journal of Economic Modeling Research*, 11(39): 81-112. [In Persian]
- Djedaiet, A., Ayad, H. & Ben-Salha, O. (2024). Oil prices and the load capacity factor in African oil-producing OPEC members: Modeling the symmetric and asymmetric effects. *Resources Policy*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104598>
- 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: 135038
- Du, J., Yang, X., Long, D., & Xin, Y. (2024). Modelling the influence of natural resources and social globalization on load capacity factor: New insights from the ASEAN countries. *Resources Policy*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104816>
- Ebaid, A., Lean, H. H., & Al-mulali, U. (2022). Do oil price shocks matter for environmental degradation? Evidence of the Environmental Kuznets curve in GCC countries. *Frontiers in Environmental Science*, 10. doi: 10.3389/fenvs.2022.860942
- Erdogan, S. (2023). Linking natural resources and environmental sustainability: A panel data approach based on the load capacity curve hypothesis. *Sustainable Development*, 1-13. <https://doi.org/10.1002/sd.2836>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104492>
- Fang, Z., Wang, T. & Yang, C. (2024). Nexus among natural resources, environmental sustainability, and political risk: Testing the load capacity factor curve hypothesis, *Resources Policy*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104791>
- Granger, C.W. & Yoon, G. (2002). Hidden co-integration. University of California, *Working Paper*.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. NBER.
- Hamilton, J. D. (1983). Oil and the macroeconomy since world war II. *J. Polit. Econ.*, 91(2): 228-248. <https://doi.org/10.1086/261140>
- Hassan, F., & Mhlana, D. (2023). The asymmetric effect of oil price on ecological footprint: Evidence from oil-producing African countries. *Sustainable Energy Research*, 10(1). doi: 10.1186/s40807-023-00087-8
- Ibrahim, R. L., & Ajide, K. B. (2021). The dynamic heterogeneous impacts of nonrenewable energy, trade openness, total natural resource rents, financial development and regulatory quality on environmental quality: Evidence from BRICS economies. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102251>
- Joof, F., Samour, A., Ali, M., Tursoy, T., Haseeb, M., Hossain, M. E., & Kamal, M. (2023). Symmetric and asymmetric effects of gold, and oil price on the environment: The role of clean energy in China, *Resources Policy*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103443>
- Kassouri, Y., Bilgili, F., & Kuşkaya, S. (2022). A wavelet-based model of world oil shocks interaction with CO₂ emissions in the US. *Environ. Sci. Policy*, 127: 280-292. doi:10.1016/j.envsci.2021.10.020
- Kazerouni, A., Asgharpour, H., Aghamohamadi, A., & Zokaei alamdari, E. (2019). Corruption and the environmental Kuznets curve in developed and developing countries. *The Journal of Economic Modeling Research*, 10(37), 7-38. [In Persian]
- Li, Y., & Guo, J. (2022). The asymmetric impacts of oil price and shocks on inflation in BRICS: A multiple threshold nonlinear ARDL model. *Applied Economics*, 54(12): 1377-1395. doi: 10.1080/00036846.2021.1976386
- Molaei, H., Golkhandan, A., & Golkhandan, D. (2014). An analysis of asymmetry effects of oil shocks on economic growth of the oil-exporting countries: A non-liner hidden panel cointegration. *Iranian Energy Economics*, 3(10): 201-229. [In Persian]
- Okere, K.I., Mouneke, O.B., Ogbolu, G., & Egbo, O.P. (2023). The mediating role of oil price in the export-exchange rate nexus for selected African economies: Evidence from MATNARDL model. *Heliyon*, 9.

- Okwanya, I., Abah, P. O., Amaka, E-O. G., Ozturk, I., Alhassan, A., & Bekun, F. V. (2022). Does carbon emission react to oil price shocks? Implications for sustainable growth in Africa. *Resources Policy*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103610>
- Pal, D., & Mitra, S.K. (2015). Asymmetric impact of crude price on oil product pricing in the United States: An application of Multiple Threshold Nonlinear Autoregressive Distributed lag model. *Economic Modelling*, 51: 436-443. [doi:10.1016/j.econmod.2015.08.026](https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.08.026)
- Pal, D., & Mitra, S. K. (2016). Asymmetric oil product pricing in India: Evidence from a Multiple Threshold Nonlinear ARDL model. *Economic Modelling*, 59: 314-328. [doi:10.1016/j.econmod.2016.08.003](https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.08.003)
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10198-021-01321-0>
- 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*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103352>
- Pata, U. K., & Isik, C. (2021). Determinants of the load capacity factor in China: A novel dynamic ARDL approach for ecological footprint accounting. *Resources Policy*, 74(C). <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102313>
- Pata, U. K., & Kartal, M. T. (2023). Impact of nuclear and renewable energy sources on environment quality: Testing the EKC and LCC hypotheses for South Korea. *Nuclear Engineering and Technology*, 55: 587-594. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.10.027>
- Pata, U. K., & Tanriver, B. (2023). Is the load capacity curve hypothesis valid for the top ten tourism destinations?. *Sustainability*, 15(2): 960. <https://doi.org/10.3390/su15020960>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R.J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(20): 289-326. [doi:10.1002/jae.616](https://doi.org/10.1002/jae.616)
- Sanjari Konarsandal, N., Elyaspour, B., & Babaki, R. (2022). The asymmetric effects of economic policy uncertainty and oil price on carbon dioxide emissions in Iran. *The Economic Research*, 22(4): 233-260. [In Persian]
- Shin, Y., Yu, B., & Greenwood-Nimmo, M. (2014). *Modeling Asymmetric Co-integration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Framework*. In W. Horrace, & R. Sickles (Eds.), *The Festschrift in Honor of Peter Schmidt: Econometric Methods and Applications* (pp. 281-314). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_9
- Sam, C., McNown, R., & Goh, S. (2019). An augmented Autoregressive Distributed Lag Bounds test for Co-integration. *Economic Modelling*, 80: 130-141. [doi:10.1016/j.econmod.2018.11.001](https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.11.001)

- Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of ecological footprint and emergy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as a case study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(10): 3182-3192.
<https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.10.027>
- Sun, A., Bao, K., Aslam, M., Gu, X., Khan, Z., & Uktamofv, K. F. (2023). Testing load capacity and environmental Kuznets curve hypothesis for China: Evidence from novel dynamic autoregressive distributed lags model. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.07.018>
- Tambari, I., Failler, P., & Jaffry, S. (2024). Understanding the interplay: Oil price and renewable energy investment in Africa's net oil importing and net oil exporting countries. *Resources Policy*, 91.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104875>
- Tayebi, S. K., Aghili, F. S., & Allahdadian, L. (2018). Trade liberalization, oil shocks and environmental quality: The case study of oil exporting and importing countries. *Environmental Sciences*, 16(1): 159-172. [In Persian]
- Uche, E., Chang, B.H., & Effiom, L. (2022). Household consumption and exchange rate extreme dynamics: Multiple asymmetric threshold non-linear autoregressive distributed lag model perspective. *International Journal of Finance & Economics*. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2601>
- Uche, E., & Effiom, L. (2021). Financial development and environmental sustainability in Nigeria: Fresh insights from multiple threshold nonlinear ARDL model. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(29): 39524-39539. doi: 10.1007/s11356-021-12843-8
- Uche, E., & Ngepah, N. (2024). How green-technology, energy-transition and resource rents influence load capacity factor in South Africa. *International Journal of Sustainable Energy*, 43.
<https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2281038>
- Ullah, S., Chishti, M.Z., & Majeed, M.T. (2020). The asymmetric effects of oil price changes on environmental pollution: Evidence from the top ten carbon emitters. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09264-4/>
- Verheyen, F. (2013). Exchange rate nonlinearities in EMU to the US. *Econ. Model.* 32: 66-76.
- Wang, S., Zafar, M. W., Vasbieva, D. G., & Yurtkuran, D. G. (2023). Economic growth, nuclear energy, renewable energy, and environmental quality: Investigating the environmental Kuznets curve and load capacity curve hypothesis. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.06.009>
- Zhang, W., Huang, Y., & Wu, H. (2022). The symmetric and asymmetric effects of economic policy uncertainty and oil prices on carbon emissions in the USA and China: Evidence from the ARDL and non-linear ARDL approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 26465-26482.
[doi: 10.3389/fenvs.2022.860942](https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.860942)