-- Iranian Energy Economics------
Summer 2025, 55 (14), 113-142
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2025.82406.2115

ATU PRESS

Dynamic Explanation of the Relationship Between Iran's GDP and Total Energy Demand Within the Framework of the Environmental Kuznets Curve

Amir Reza Khalili Master's student in energy economics, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar, Kerman, Iran.

Mojtaba Bahmani * Associate Professor, Department of Economics, Management and Economics, Shahid Bahonar, Kerman, Iran.

Mehdi Nejati Associate Professor, Department of Economics, Management and Economics, Shahid Bahonar, Kerman, Iran.

Abstract

Currently, about 80 percent of the global energy production relies on fossil fuels, a consequence of which is the substantial emission of environmental pollutants. Given that economic growth in Iran is predominantly driven by the utilization of fossil fuels, this study aims to examine the relationship between Iran's Gross Domestic product (GDP) and total energy demand through the framework of the Environmental Kuznets Curve. The study first addresses key issues concerning pollution and energy consumption before delving into sustainable development and the Environmental Kuznets Curve. The empirical model in this study consists of two parts: first, the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model, selected as the methodological approach, is estimated following stationarity testing; second, dynamic systems are employed to implement the model over the period spanning 2000 to 2046 (1379-1425 in the Persian Calendar). The findings reveal that Iran is in the first stage of the Environmental Kuznets Curve, with 59% of energy demand variations attributable to changes in GDP. Accordingly, a policy recommendation warranting consideration within this paper is encouraging energy consumers to adopt more efficient energy systems to enhance energy productivity and invest in renewable energy sources. This strategy could foster economic growth on the one hand, and facilitate a transition beyond the initial stage of the Environmental Kuznets Curve on the other.

* Corresponding Author: mbahmani@uk.ac.ir
How to Cite: Khalili, A R., Bahmani, M., Nejati, M. (2025). Dynamic Explanation of the Relationship Between Iran's GDP and Total Energy Demand Within the Framework of the Environmental Kuznets Curve. Iranian Energy Economics, 55(14), 113-142.

Original Research
Received: 12/Oct/2024
Accepted: 11/May/2025
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Introduction

Human life on Earth has always been tied to the environment and its physical surroundings. However, with the ever-growing global population, the interaction between humans and the environment has taken on complex and far-reaching dimensions, giving rise to numerous ecological challenges. The increase in carbon dioxide levels in the atmosphere has caused a major environmental crisis, including environmental degradation, glacial melting, and global warming. Notably, Iran ranks among the world's top CO_2 emitters, surpassing all regional counterparts with 745 million tons of CO_2 emissions annually—placing it just behind Japan and Germany globally. Saudi Arabia follows as the second-largest regional emitter, releasing 497.25 million tons.

Beyond its high CO_2 emissions and energy intensity, Iran has faced chronic water scarcity for decades. Escalating water shortages, depleting groundwater reserves, air pollution, and a temperature rise of 0.41°C per decade—coupled with significant annual fluctuations—highlight the country's deepening environmental crisis. Additionally, the sharp decline in potable water supplies and the loss of biodiversity underscore the severe ecological degradation Iran has experienced over the past forty years.

Ultimately, necessary measures must be taken to prevent environmental degradation. Rather than viewing ecological restoration as a financial burden, it should be recognized as a strategic investment—one that fosters economic activity and generates employment opportunities. Accordingly, the present study, with the aim of clarifying the relationship between Iran's GDP and total energy demand using the Environmental Kuznets Curve framework, attempts to determine Iran's current position on the curve and identify actionable policies to curb further environmental deterioration.

Methods and Material

The empirical model in this study is implemented through a two-stage methodology. In the first stage, we conduct a comprehensive analysis of the selected variables and estimate their regression relationships. Based on these results and system dynamics principles, a state-flow diagram is developed to evaluate various scenarios. Utilizing data from the World Bank, the Central Bank of Iran, and the national energy balance, we perform stationarity tests within the Kuznets curve framework to examine the dynamic relationship between Iran's GDP and total energy demand. Our results indicate that the ARDL (Autoregressive Distributed Lag) model represents the optimal estimation method for the period spanning 2000 to 2020 (1379-1399 in the Persian calendar). In the second stage, a dynamic system model is created using the initial regression results. Figure 1 illustrates the causal loop diagram based on this approach. Unlike static analysis that examines causal relationships at a single point in time, dynamic analysis explicitly incorporates time as a critical factor, focusing on underlying trends rather than isolated events. Our methodology emphasizes this dynamic

perspective, enabling us to capture the evolving nature of the economic-energy-environment system and its behavioral patterns over time.

Results and Discussion

The model implementation yields the outputs presented in Figure 1, demonstrating close alignment between the estimated trends and actual observed data. This suggests that the model exhibits satisfactory validity, as evidenced by its capacity to reproduce behavior through the comparison of extant historical data with the simulated trends generated by the model. Subsequently, the empirical model proceeds with scenario development and the implementation of economic policies to analyze the repercussions of economic growth on aggregate energy consumption.

In this study, two scenarios with 5% and 7% economic growth are considered. The results for each scenario are shown in Figure 2. Naturally, higher economic growth in each scenario leads to an increase in energy demand.

Figure 1 *Initial model results before running scenarios*

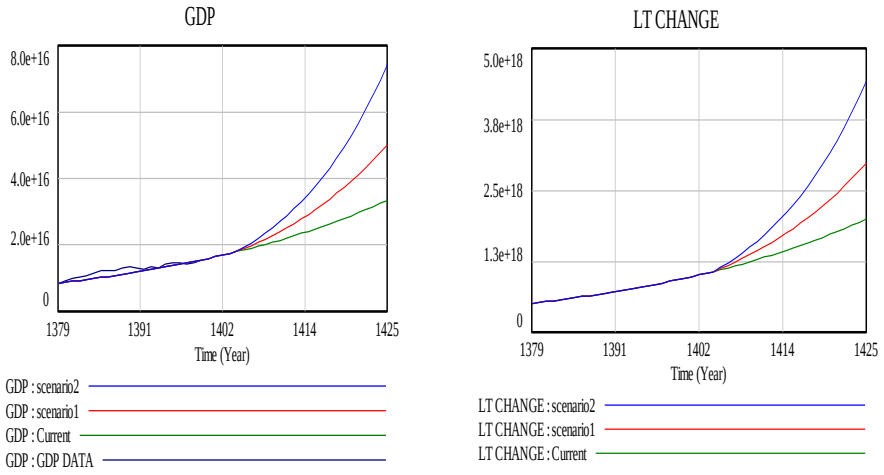
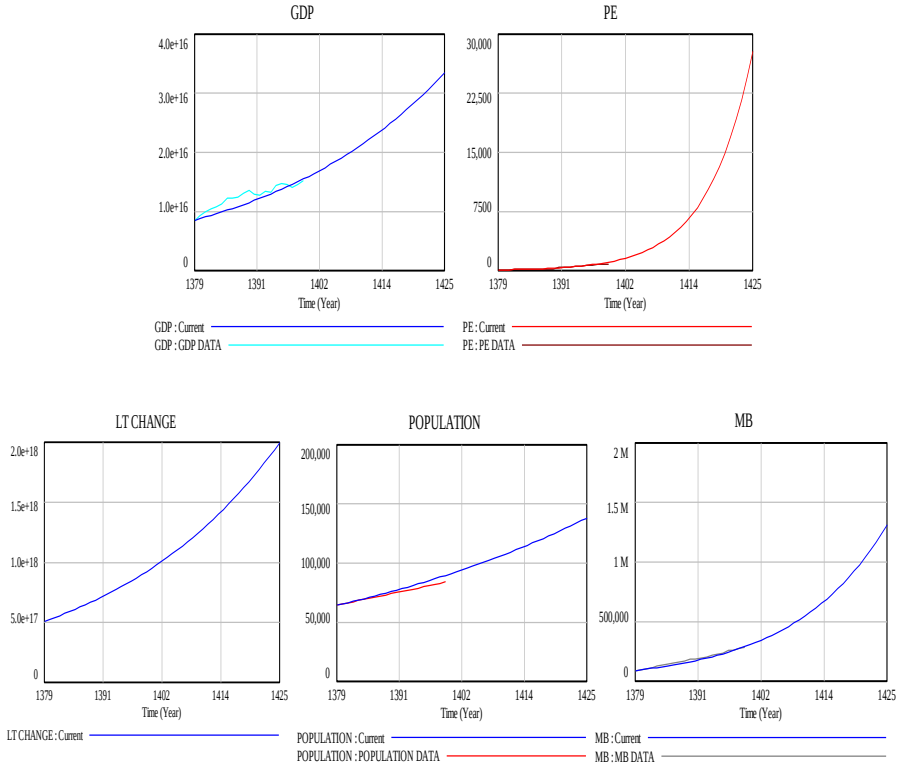


Figure 2 *Results from applying scenarios*



The findings of this study, derived from ARDL estimation and dynamic system modeling within the Environmental Kuznets Curve framework, reveal that 99% of the changes in energy consumption are explained by the model's selected variables. Of these, about 60% is attributed to GDP based on the empirical model, cause-and-effect and state-flow diagrams, and two growth scenarios (5% and 7%). The results indicate:

- A positive relationship between GDP and energy consumption, meaning that as GDP increases, total energy consumption also rises.

- Iran is in the first stage of the Environmental Kuznets curve, where GDP growth leads to higher energy consumption and pollution, due to the country's reliance on fossil fuels.

Conclusion

The results derived from the empirical model in both the first and second stages indicate that Iran is situated in the initial phase of the Environmental Kuznets Curve (EKC). This implies that an increase in Iran's Gross Domestic Product (GDP) is accompanied by a rise in the nation's energy consumption. Furthermore, given the country's reliance on fossil fuels, it is anticipated that pollution levels

will concurrently increase with energy consumption. Acknowledging the influence of other determinants on energy demand, this study suggests that future research should consider the impact of variables such as temperature, climatic conditions, and the type and number of vehicles. Incorporating these variables into the dynamic modeling stage could allow for the inclusion of additional causal feedback loops and the observation of their effects within the model. Based on the findings of this research, a policy recommendation warranting consideration is the incentivization of energy consumers to adopt more efficient energy systems for energy demand management and enhanced energy productivity, alongside investment in renewable energy systems (such as the construction of solar panels). Moreover, attention should be directed towards the 17 Sustainable Development Goals (SDGs), particularly the realization of Goals 11 (Sustainable Cities and Communities), 7 (Affordable and Clean Energy), and 13 (Climate Action), such as carbon reduction. This approach has the potential to simultaneously foster economic growth and development and facilitate a transition from the initial phase of the Environmental Kuznets Curve.

Keywords: CO_2, Emission, Dynamic Systems, Economic Growth, Energy Transition.

JEL Classification: O10 , Q01 , Q40 , Q4

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱٤، شماره ۵۵، تابستان ۱٤۰٤، ۱٤۲-۱۱۳
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2025.82406.2115

تبیین پویای رابطه تولید ناخالص داخلی و تقاضای کل انرژی ایران در چارچوب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس

امیررضا خلیلی [۱] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم اقتصادی - اقتصاد انرژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

مجتبی بهمنی * دانشیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

مهدی نجاتی دانشیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱
ISSN: ۵۹۵۴-۲۴۲۳
eISSN: ۶۴۳۷-۲۴۷۶

چکیده

امروزه حدود ۸۰ درصد انرژی جهان از سوخت‌های فسیلی تولید می شود که نتیجهٔ آن انتشار قابل توجه آلودگی زیست‌محیطی است. رشد اقتصادی ایران نیز به سوخت‌های فسیلی وابستگی دارد لذا مطالعه‌ای با هدف تبیین رابطهٔ بین تولید ناخالص داخلی ایران و تقاضای کل انرژی با استفاده از چارچوب منحنی کوزنتس شکل گرفت، این پژوهش ابتدا نکاتی را در مورد آلودگی و مصرف انرژی متذکر شده و سپس به توسعه پایدار ومنحنی کوزنتس می‌پردازد، مدل تجربی این مطالعه در دو قسمت ارائه شده است: ابتدا با انجام آزمون مانایی مدل ARDL به‌عنوان روش انتخابی مورد تخمین قرار می‌گیرد و سپس در قسمت دوم با استفاده از سیستم‌های پویا، مدل طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۲۵ اجرا شده است. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که ایران در مرحلهٔ اول منحنی کوزنتس قرار دارد و ۵۹ درصد تغییرات تقاضای انرژی به دلیل تغییرات در تولید ناخالص داخلی است. بدین‌منظور توصیه سیاستی‌ای که در این مقاله می‌تواند مورد توجه قرار گیرد تشویق متقاضیان انرژی برای استفاده از سیستم‌های کارآمدتر انرژی جهت افزایش بهره‌وری انرژی و سرمایه‌گذاری در سیستم‌های تجدیدپذیر است که از جهتی موجب رشد اقتصادی می شود و از سویی دیگر نیز موجب گذار از مرحلهٔ اول منحنی زیست‌محیطی کوزنتس خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: انتشار کربن، رشد اقتصادی، سیستم‌های پویا، گذار انرژی

طبقه‌بندی JEL: Q4 , Q40 , Q01 , O10

---

۱. مقاله حاضر از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول استخراج شده است.

* نویسنده مسئول: mbahmani@uk.ac.ir

۱. مقدمه

زندگی انسان در کره زمین همواره به محیط زیست و محیط فیزیکی او گره خورده است که از سویی با افزایش جمعیت جهانی ارتباط بین انسان و محیط زیست، اشکال و ابعاد گسترده‌ای یافته و مشکلات زیست‌محیطی متعددی را به وجود آورده است. (ملکیان، ۱۳۹۹) و از سوی دیگر، موجب عدم هماهنگی بازسازی طبیعی محیط زیست با میزان تخریب انجام‌شده در طبیعت شده است. (علیشیری و همکاران، ۱۳۹۶)

تخریب و تهدیدات زیست‌محیطی مانند تغییرات آب و هوایی، از دست دادن تنوع زیستی، آلودگی هوا و گرم شدن کره زمین، که به واسطهٔ افزایش فزاینده تقاضای انسان برای منابع طبیعی رخ داده است، فشار زیادی بر اکوسیستم وارد می‌کند (اعظم و همکاران، ۲۰۲۴) که ادامه این فعالیت‌های انسانی به همراه تخریب مداوم محیط زیست (عامر و همکاران، ۲۰۲۴) و تغییرات اقلیمی، خطراتی را برای استقلال انرژی و غذا و بهره‌وری عمومی ایجاد می‌کند (آسودو و همکاران[1]، ۲۰۲۳) و از طرفی، می‌تواند منجر به انقراض انسان شود. (قزلباش و همکاران، ۱۳۹۵)

به‌طور خاص، آلودگی هوا نه‌تنها باعث ایجاد مشکلات سلامتی می‌شود، بلکه زیان‌های اقتصادی مانند کاهش تجارت توریست، امید به زندگی، رونق اقتصادی و افزایش جنایات را نیز به همراه دارد. هرچند رشد اقتصادی بالاتر منجر به افزایش استاندارد زندگی می‌شود، اما محیط زیست را نیز مختل کرده (کلیم و همکاران[2]، ۲۰۲۴) و بر مسیر رشد بهینه و رفاه تأثیر می‌گذارد. (سلمان‌پور و زنوز، ۱۳۹۹) بنابراین و همان‌طورکه نتایج مطالعات نشان می‌دهد هرچه انسان‌ها فعالیت کمتری داشته باشند درنتیجه منابع کمتری مصرف می‌شود و اثرات تخریبی آن بر محیط پیرامون کمتر است. (ملکیان، ۱۳۹۹)

پیشرفت‌های شگفت‌انگیزی که برای استفاده حداکثری از منابع ارزان‌قیمت انرژی رخ داده است، پیامدهای وحشتناکی مانند افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن به وجود آورده که تمامی ابعاد زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر خود قرار داده است. (غزنوی و رفیعی، ۱۴۰۲) به یکی از مهمترین مسائل جهان امروز تبدیل شده (وانگ و همکاران[3]، ۲۰۲۴) که منجر به

1. Acevedo et al.
2. Kalim et al.
3. Wang et al.

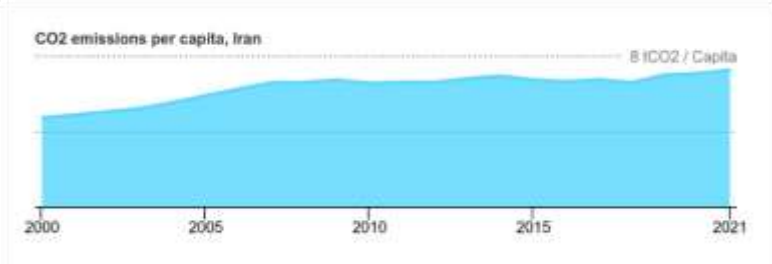
انتشار جهانی ۳۷ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۲۲ شده و پیش‌بینی می‌شود در این دهه به اوج خود برسد. (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳)

افزایش سطح دی‌اکسیدکربن در اتمسفر باعث ایجاد یک بحران زیست‌محیطی بزرگ ازجمله تخریب محیط زیست، ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و گرم شدن کره زمین شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۳) به گونه‌ای که در روسیه انتشار دی‌اکسیدکربن نزدیک به ۸۰ درصد و دما ۲/۵ درجه سانتی گراد افزایش یافته و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، ۲/۵ درجه دیگر افزایش یابد، در هند بیش از ۷۰ درصد و دما نیز ۱/۵ درجه سانتیگراد افزایش یافته و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۴۰، ۱/۵درجه دیگر نیز افزایش یابد، در چین بیش از ۱۳۰ درصد و دما نیز ۱/۳ درجه افزایش یافته و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، ۱/۳درجه مجدداً افزایش یابد. (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴)

در ایران نیز انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش یافته و در رتبه‌بندی جهانی بعد از ژاپن و آلمان قرار دارد. اما از منظر اقتصادی، تولید ناخالص داخلی ایران کمتر از مجموع تولید ناخالص داخلی برلین و توکیو بوده (حسینی و همکاران، ۲۰۱۹) و با میزان انتشار ۷۴۵ میلیون تن کربن‌دی‌اکسید رتبه اول منطقه (حافظی و ممپور، ۱۴۰۳) و بعد از آن عربستان سعودی در رتبهٔ دوم با میزان انتشار ۴۹۷/۲۵ قرار دارد (آژانس بین‌المللی انرژی[1]، ۲۰۱۹) اما دلیل این میزان از انتشار برای ایران نرخ پایین رشد اقتصادی و وضعیت اقتصادی موجود که منجر به تولید این میزان از کربن شده است (حافظی و ممپور، ۱۴۰۳). بررسی بخش‌های عمده مصرف انرژی براساس آخرین آمارهای موجود در سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که در این سال، بخش حمل‌ونقل (به استثنای دی‌اکسیدکربن و دی‌اکسید گوگرد) بیشترین سهم را در تولید سایر گازهای آلاینده و گلخانه‌ای داشته است. در همین سال سهم بخش‌های نیروگاهی خانگی، تجاری، عمومی و حمل‌ونقل در انتشار دی‌اکسیدکربن به ترتیب برابر با ۳۱/۷، ۲۲/۴ و۲۱/۷ بوده است. (ترازنامه انرژی، ۱۴۰۰)

1. International Energy Agency

شکل ۱. انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن ایران



منبع: آژانس بین‌المللی انرژی

علاوه بر بالا بودن انتشار دی‌اکسیدکربن و شدت انرژی بالا (شکیبایی و همکاران، ۱۳۹۴) کشور ایران سالیان زیادی است که با مشکل کم‌آبی و باران‌های ناکافی مواجه است (محبوب و نوراللهی، ۱۴۰۰) و تنها منطقه‌ای از ایران که سالانه بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه دارد سواحل دریای خزر است. (طاهباز[1]، ۲۰۱۶) افزایش کمبود آب، خشک شدن رودخانه‌ها و سفره‌های زیرزمینی، آلودگی هوا (مدنی[2]، ۲۰۲۱) و افزایش ۰/۴۱ درجه‌ای دما در هر دهه (سلیقه، ۱۴۰۲) و دامنه نسبتاً زیاد سالانه آن (بانک جهانی[3]، ۲۰۲۲) و همچنین کاهش قابل توجه و خطرناک آب آشامیدنی (ایاد و همکاران[4]، ۲۰۲۴) و از بین رفتن تنوع زیستی از نشانه‌های بارز تخریب محیط زیست ایران در چهار دهه اخیر است. (مدنی، ۲۰۲۱)

اقدامات لازم به منظور جلوگیری از تخریب‌های محیط زیستی صورت گرفته و باز تنظیم آن را نباید به چشم هزینه دید بلکه باید سرمایه‌گذاری‌ای به شمار آورد که فعالیت‌های اقتصادی و فرصت‌های شغلی به وجود می‌آورد. مطالعات نشان می‌دهد که ایجاد اقتصاد کمک حال طبیعت، در کوتاه‌مدت می‌تواند تا ۳۷ میلیون شغل کمک حال طبیعت ایجاد کند (حسنی، ۱۴۰۰). ازاین‌رو مطالعهٔ حاضر با هدف روشن ساختن رابطهٔ بین تولید ناخالص داخلی ایران و تقاضای کل انرژی با استفاده از چارچوب منحنی کوزنتس سعی در تبیین این موضوع دارد که ایران در کدام بخش از منحنی کوزنتس قرار داشته و چه اقداماتی می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد تا از تخریب هرچه بیشتر محیط زیست جلوگیری کند و با توجه به پتانسیل‌های موجود اقتصادی به طبیعت کمک نماید.

1. Tahbaz, M.
2. Madani, K.
3. WORLD BANK
4. Ayad et al.

سازماندهی مقاله حاضر به این شورت است که پس از مقدمه‌ای در قسمت دوم به مبانی نظری و اهمیت منحنی زیست‌محیطی کوزنتس پرداخته و پس از آن پیشینه پژوهش، در بخش سوم و چهارم به مدل تجربی و سناریوهای اعمال‌شده پرداخته شده است و در نهایت بحث و نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

۲. مبانی نظری

منحنی کوزنتس بیش از چهار دهه است که مورد بحث قرار گرفته و کشورهای چین، ترکیه، پاکستان، مالزی و عربستان سعودی پنج کشور متمایز در این زمینهٔ علمی هستند که چین به تنهایی با ۲۲۴ مقاله بیشترین فعالیت علمی را در این زمینه دارد و پس از آن ترکیه با ۱۲۸ مقاله و پاکستان با ۹۹ مقاله قرار دارند. (عجمی و همکاران[1]، ۲۰۲۳) «منحنی زیست‌محیطی کوزنتس» در یک کشور نشان می‌دهد که بین آلودگی زیست‌محیطی و رشد اقتصادی آن یک رابطه U شکل معکوس وجود دارد. که با توجه به رشد سریع اقتصادی یک کشور، در ابتدا تخریب محیط زیست افزایش می‌یابد، اما در مراحل بعدی، آلودگی شروع به کاهش می‌کند. (عبدالفاروق و همکاران[2]، ۲۰۲۴).

براساس تعریف ارائه‌شده از سوی بانک جهانی[3] تولید ناخالص داخلی[4] بیان‌کننده مجموع ارزش افزوده توسط همه تولیدکنندگان آن طی یک دوره معین است. (بانک جهانی، ۲۰۲۵) که نقشی اساسی در روند بازبینی و سنجش رشد اقتصادی کشورها داشته (اویسی و همکاران، ۱۴۰۰) و همچنین نقشی کلیدی در مطالعهٔ حاضر و به‌خصوص فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس دارد. از طرفی دیگر همان‌طورکه مطالعات نشان می‌دهد رشد و توسعه اقتصادی به شدت به مصرف انرژی وابسته است زیرا نقش مهمی در تولید داشته و عاملی کلیدی در رشد اقتصادی به شمار می‌رود. (سان و همکاران[5]، ۲۰۲۲)

تولید ناخالص داخلی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی رشد و توسعهٔ اقتصادی و حتی توسعهٔ پایدار استفاده می‌شود اما باید به این نکته توجه داشت که تولید ناخالص داخلی توانایی سنجش آسیب‌های زیست‌محیطی را ندارد و صرف رشد اقتصادی مثبت به شکلی

1. Ajmi et al.
2. Farooq et al.
3. WORLD BANK
4. Gross Domestic Product (GDP).
5. Sun et al.

مستمر می‌تواند موجب آسیب به محیط زیست شود بنابراین مفهومی تحت توسعهٔ پایدار شکل گرفته است که بیان می‌کند توسعه‌ای پایدار است که نیازهای کنونی جهان را تأمین کند بدون اینکه توانایی نسل‌های آتی را در برآوردن نیازهای خود به مخاطره افکند. بنابراین می‌توان این‌گونه گفت که توسعهٔ پایدار، فرآیند توسعهٔ اقتصادی همراه با حفاظت محیط زیست و احترام به عدالت اجتماعی است. (امینی و خلیلی،۱۴۰۰)

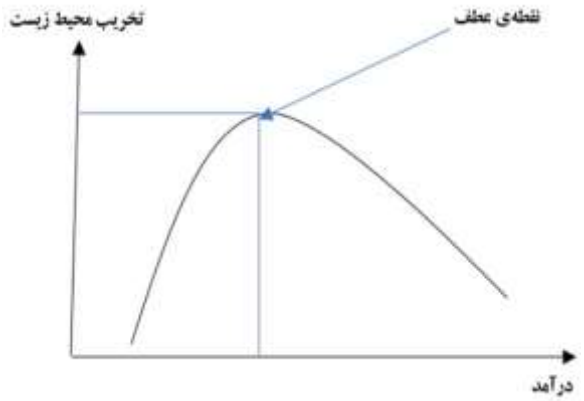
همان‌گونه که اشاره شد رشد و توسعهٔ اقتصادی بدون مصرف انرژی ناممکن است. بنابراین رشد اقتصادی و مصرف انرژی می‌توانند منشأ اثرات زیست‌محیطی باشند که از یک‌سو افزایش رشد اقتصادی باعث استفاده بیشتر از منابع طبیعی می‌شود و از سوی دیگر تولید کالاهای با کیفیت پایین‌تر نیز آلودگی محیط زیست را افزایش می‌دهد. (حسین‌زاده و مرادی، ۱۴۰۲) با این وجود برخی کشورها همچنان ترجیح می‌دهند با به خطر انداختن کیفیت محیطی نرخ رشد اقتصادی خود را تسریع بخشند، زیرا ترجیح دولت بر این است که فرصت‌های شغلی ایجاد کند و درآمد سرانه را افزایش دهد. اما هرچه زمان بیشتری می‌گذرد مردم شروع به ارزش‌گذاری برای کیفیت محیط می‌کنند زیرا درآمد بالاتر باعث افزایش آگاهی می‌شود. در ادامهٔ این روند، ممکن است از فناوری‌های کارآمدتر انرژی که موجب افزایش بهره‌وری می‌شود استفاده شود که منجر به کاهش شدت انرژی شده که به نوبه خود منجر به افزایش کیفیت محیط می‌شود. (عبدالفاروق و همکاران، ۲۰۲۴)

منحنی زیست‌محیطی کوزنتس بیان می‌کند که هدف اولیه دولت‌ها ایجاد ثروت و درآمد اضافی از طریق افزایش تولید است، نه داشتن هوای پاک. بنابراین در مراحل اولیه توسعه اقتصادی، افزایش قابل توجهی در تخریب محیط زیست به دلیل آلودگی اکوسیستم (به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع برای تولید) وجود دارد. که با توسعه اقتصاد، تلاش‌هایی برای مقابله با این روند با اتخاذ فناوری‌های پاک‌تر صورت می‌گیرد. با افزایش ثروت کشور، ساختار صنعت دستخوش تغییراتی می‌شود که چارچوب زیربنایی اقتصاد را تغییر می‌دهد. در این مدت، مشاغل و صنایع به استفاده از فناوری پاک‌تر تغییر می‌کنند وکیفیت محیطی اهمیت بیشتری پیدا کرده و کارایی انرژی را افزایش می‌دهند. (عجمی و همکاران[1]، ۲۰۲۳)

1. Ajmi et al.

ازاین‌رو می‌توان گفت که رشد اقتصادی چرخی برای بهبود محیط زیست است. (عبدالفاروق و همکاران، ۲۰۲۴) و به تبع آن هرچه رشد اقتصادی بیشتر شود می‌توان انتظار بهبود محیط زیست را داشت. اما توجه به این نکته لازم است که رابطه U شکل معکوس بین تخریب محیط زیست و درآمد به درستی توسط خود کوزنتس به‌عنوان یک حدس و نه یک «قانون» تلقی شد زیرا داده‌های جدیدتر نشان می‌دهد که چنین رابطه‌ای قابل تعمیم نیست و زمان نقطه عطف برای هر کشور متفاوت است و همه کشورها یکسان رفتار نمی‌کنند. (برتراند حمایدا، ۲۰۲۲)

شکل ۲. منحنی زیست‌محیطی کوزنتس



(اعظم و همکاران، ۲۰۲٤)

تولید جوامع با پیشرفت تکنولوژی افزایش یافته، ولی از آنجایی که سهم زیاد انرژی مورد نیاز جهان توسط سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، استفاده بیش از حد از این منابع مشکلات عظیمی را به همراه داشته است. اولاً، تخمین زده می‌شود که یک روز عرضه انرژی تمام خواهد شد زیرا منابع انرژی تجدیدناپذیر منابع محدودی هستند و عمر محدودی دارند. (طول عمر ذخایر جهانی نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ به ترتیب ۵۳/۵، ۴۸/۸ و ۱۳۹ سال است). ثانیاً، ذخایر انرژی تجدیدناپذیر به شدت در مناطق خاصی متمرکز شده‌اند به‌عنوان مثال، کشورهای اوپک تقریباً ۷۰ درصد از ذخایر نفت جهان را در اختیار دارند. این تمرکز

1. Hamaide, B.

باعث ایجاد مشکلات امنیت انرژی در کشورهای واردکننده انرژی می‌شود. (آیدین[1] و همکاران، ۲۰۲۳) که این موضوع خود به تنهایی یکی از دلایل لزوم گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر است که می‌تواند منجر به جلوگیری تخریب محیط زیست شود و از طریق تکنولوژی سبز و شغل‌های جدید محرک‌هایی برای رُشد اقتصادی ایجاد کند. (تاجمیر ریاحی ریحانه، ۱۴۰۰)

در اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست، ارتباط بین رشد اقتصادی وآلاینده‌های محیط زیست اغلب به‌عنوان یک مفهوم به هم پیوسته مطرح می‌شود. (عسگری و همکاران، ۱۴۰۱). انسان‌ها در چند سال اخیر با خطر آلودگی محیط‌زیست مواجه بوده و خوشبختانه آن را به خوبی درک کرده‌اند، انواع آلودگی‌های محیطی تمام کره زمین را درگیر کرده و حیات موجودات زنده را به خطر انداخته است. به همین دلیل جامعه جهانی برای حفاظت از محیط زیست و بازبینی و اصلاح روش‌های توسعه دست به کار شده و تمام فعالیت‌های دولت‌ها و جوامع را تحت الشعاع قرار داده است به گونه‌ای که توسعه پایدار امروزه از مهمترین مباحث جامعه جهانی می‌باشد. (روزبه و همکاران، ۱۴۰۲)

توسعه پایدار، سازگاری با محیط زیست، صرفه‌های اقتصادی و پایان‌ناپذیری و قابلیت اطمینان بالا از مزیت‌های اصلی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بوده (عوضپور و همکاران، ۱۳۹۹) که با اقدام سریع برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، به ازای هر ۱ دلار هزینه کردن در گذار انرژی، بازدهی بین ۱/۵ تا ۵ دلار حاصل می‌شود. (آژانش بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۱) که با استفاده به موقع از این فناوری‌ها می‌توان از مرحله اول منحنی کوزنتس گذر کرده و آلودگی و تخریب زیست‌محیطی کمتری را ایجاد کرد.

۳. پیشینه پژوهش

در این قسمت به بررسی مطالعات صورت‌گرفتهٔ داخلی و خارجی درخصوص منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در جدول ۱ پرداخته می‌شود:

1. Aydin et al.

جدول ۱. مطالعات داخلی و خارجی انجام شده

الف) مطالعات داخلی انجام‌شده			
نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
(شاهدانی و همکاران)	۱٤۰۰	ایران ۱۹٦۰-۲۰۱۷	در این مقاله به بررسی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در ایران با مدل ARDLپرداخته شده که یافته‌ها نتایج مدل پویا نشان می‌دهد که مساحت زمین‌های تحت کشت تأثیری منفی و تولید ناخالص داخلی (GDP) و صادرات تأثیری مثبت بر انتشار N_2O دارند. و فرض وجود منحنی کوزنتس در ایران رد نمی‌شود. نقطه حداکثری نمودار برای کشور ایران برحسب تولید ناخالص داخلی سرانه، رقمی حدود ۷۵۰۰ دلار خواهد بود. بنابراین اگر از این میزان جلوتر برویم، میزان انتشار N_2O کاهش پیدا خواهد کرد. و کشور ایران در حال حاضر در مسیر صعودی منحنی کوزنتس قرار دارد.
(احمدیان و همکاران)	۱۳۹۸	-------	نتایج این مقاله نشان می‌دهد که منحنی پویای محیط زیست کوزنتس در خارج از شرایط پایدار و بهینه قرار دارد. در این مطالعه در مسیر رشد و توسعهٔ اقتصادی، تخصیص سرمایه برای اقداماتی که منجر به جلوگیری از انتشار آلودگی در طی زمان می‌شود افزایش یافته و در نقطهٔ بهینه یا وضعیت پایدار متوقف می‌شود لازم به ذکر است این مقاله امکان بررسی و تحلیل نظری منحنی کوزنتس را در حالت مدل رشد برونزا ایجاد نمود و منحنی کوزنتس به‌طور پویا در شرایط خارج از شرایط پایدار و بهینه برآورد استخراج می‌گردد. مدل مورد استفاده در این پژوهش پیشنهاد می‌کند که بخشی از سرمایه موجود باید برای جلوگیری و کاهش فعالیت‌های مخرب محیط زیست تخصیص یابد؛ از طرفی نیز تخصیص بهینه و مناسب سرمایه‌گذاری برای جلوگیری از فعالیت‌های مخرب آلودگی موجب کاهش سطح آلودگی می‌شود.
(حسین استادزاده و بهلولی)	۱۳۹٤	ایران	با هدف برآورد منحنی زیست محیطی کوزنتس نتایج برآورد نشان می‌دهد که قدرت پیش بینی الگوی انحراف مطلق خطاها (LAD) در الگوی پویا بیشتر از روش حداقل کردن مجذور انحراف خطا (LS) می‌باشد. همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد، اقتصاد ایران در قسمت صعودی منحنی زیست‌محیطی کوزنتس قرار دارد. از طرفی به منظور رسیدن به نقطهٔ بحرانی منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، ۱۲ درصد از کل انرژی باید توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. از طرفی دیگر نتایج نشان می‌دهد با افزایش ۱ درصدی تولید سرانه با توجه به وضعیت کنونی اقتصاد آلودگی سرانه ۰/۲۱ درصد افزایش خواهد داشت. همچنین نتایج بیان می‌کند با افزایش یک درصدی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به وضعیت کنونی اقتصاد، آلودگی سرانه ۰/۰۷ درصد کاهش خواهد یافت.

الف) مطالعات داخلی انجام‌شده			
نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
(فلاحی و همکاران)	۱۳۹۱	ایران ۲۰۰۶-۱۹۶۰	در این مقاله با استفاده از روش LSTR سعی شده است که فرضیه کوزنتس مورد آزمون تجربی قرار بگیرد. نتایج تحقیق نشان‌دهندهٔ این است که رابطه‌ای غیر خطی و مثبت بین درآمد سرانه و دی‌اکسیدکربن سرانه وجود دارد که روش انجام شده وجود دو رابطه بین متغیرها را مورد تأیید قرار می‌دهد در هر دو رژیم با افزایش درآمد سرانه تخریب محیط زیست افزایش می‌یابد ولی در رژیم دوم تأثیرگذاری درآمد سرانه بر تخریب محیط زیست نسبت به رژیم اول کمتر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با ادامه روند کنونی شاید بتوان در آینده به چنین سطحی از درآمد دست یافت که در آن تخریب محیطی زیست کاهشی باشد بنابراین می‌توان گفت براساس نتایج این مطالعه وجود منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای کشور ایران مورد تأیید قرار نمی‌گیرد.
(خوش اخلاق و همکاران)	۱۳۹۰	ایران	در این مقاله نشان داده می‌شود که شیوه تصمیم‌گیری خانوار به گونه‌ای است که با افزایش درآمد، ابتدا آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد و سپس جانشینی کالای تمیز با کثیف، آلودگی محیط زیست را کاهش می‌دهد این فرآیند به گونه‌ای است که تأییدی بر وجود منحنی محیط زیست کورنتس است. در این مدل محیط زیست محصول جانبی فعالیت خانوار است و خانوار دارای سبدی مصرفی شامل دونوع کالای تمیز و کثیف است. خانوار می‌تواند از طریق تنظیم نوع سبد مصرفی، مقدار آلودگی محیط را تعیین می‌کند. یک تابع مطلوبیت کاب داگلاس و با برقراری شروط مرتبهٔ اول کان تاکر، نقاط تعادلی به شکلی سبد مصرفی تعادلی خانوار را تعیین می‌کند که خانوار با افزایش درآمد، مصرفش را از کالاهای کثیف به کالاهای تمیز تغییر می‌دهد و با این کار محیط پاکیزه‌تری خریداری می‌کند.
ب) مطالعات خارجی انجام‌شده			
نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
(شهباز و همکاران[1])	۲۰۲٤	کشورهای G۷ طی دوره ۲۰۲۱-۱۸٦۱	هدف از انجام این مطالعه استخراج منحنی کوزنتس برای کشورهای G7 با استفاده مدل CGE است. در این مطالعه، اثرات بهره‌وری انرژی، بر انتشار دی‌اکسیدکربن، بر شدت کربن و رشد اقتصادی را در نظر گرفته که نتایج نشان می‌دهد با بهبود ۳ درصدی بهره‌وری، تا سال ۲۰۵۰، تولید ناخالص داخلی نزدیک به ۱۲ درصد افزایش می‌یابد و انتشار کربن ٤,٤ درصد کاهش می‌یابد. ترکیب این دو اثر به یک رابطه U شکل معکوس بین رشد اقتصادی و انتشار کربن منجر شده است. و در بین کشش

1. Shahbaz et al.

ب) مطالعات خارجی انجام‌شده			
نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
			جایگزینی، کشش جایگزینی سرمایه و انرژی و همچنین کشش جایگزینی ورودی‌های انرژی بیشترین تأثیر را بر EKC دارد. همچنین در صورت اعمال مالیات کربن، شیب EKC منفی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مالیات کربن و تخصیص آن به بخش‌های انرژی‌های تجدیدپذیر اثرات زیست‌محیطی را بهبود می‌بخشد.
(محمد اعظم و همکاران[1])	۲۰۲٤	برای ۱۸۲ کشور براساس داده‌های سری زمانی سالانه است.	در این مطالعه کشورها براساس طبقه‌بندی بانک جهانی به چهار گروه درآمدی (کشورهای کم، متوسط به پایین، متوسط به بالا و با درآمد بالا) طبقه‌بندی می‌شوند. نتایج تجربی وجود EKC را در ۱۱ کشور با درآمد کم، ۱۵ کشور با درآمد متوسط پایین، ۳٤ کشور با درآمد متوسط بالا و ۲٤ کشور با درآمد بالا از ۱۸۲ کشور تأیید می‌کند، علاوه بر این، تأثیر مثبت استفاده از انرژی و رشد جمعیت بر انتشار دی‌اکسیدکربن با این فرضیه سازگار است. بنابراین، این مطالعه نتیجه می‌گیرد که فرضیه EKC در ۸٤ کشور تأیید می‌شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که دولت‌ها برای دستیابی به توسعه پایدار باید انتشار کربن کم و فناوری سبز را در اولویت قرار دهند. این تحقیق توصیه می‌کند که نهادهای حاکم بر رسیدن به نقطه عطف از نظر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به جای انجام اقدامات دیگر تمرکز کنند.
(کاپورین و همکاران[2])	۲۰۲۳	کوزنتس کشورهای اسیای مرکزی در دوره ۱۹۹۵–۲۰۱۸	این مطالعه از چارچوب حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح‌شده استفاده کرده که یافته‌های مطالعه نشان می‌دهد فرم خطی EKC در مقایسه با فرم N شکل برای آسیای مرکزی قابل تصور است. این موضوع به این واقعیت مرتبط می‌شود که کشورهای آسیای مرکزی در مرحله اول EKC هستند. همچنین در این مطالعه مشاهده شد که تولید ناخالص، ردپای زیست‌محیطی، مصرف انرژی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت تأثیر مثبت دارد. علاوه بر این، علیت دو طرفه از تولید ناخالص داخلی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی با انتشار دی‌اکسیدکربن وجود دارد، در حالی که علیت بین انتشار و مصرف انرژی یک‌طرفه است.
(محمود و همکاران[3])	۲۰۲۳	چین	عملکرد کلان اقتصادی چین می‌تواند نگرانی‌های زیست‌محیطی بیشتری را برای جهان و خود کشور ایجاد کند هدف این مقاله بررسی مطالعات تجربی در مورد آزمون فرضیه EKC با استفاده از نمونه‌های مختلف

1. Azam Khan et al.
2. Caporin et al.
3. Mahmood et al.

ب) مطالعات خارجی انجام‌شده			
نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
			آلودگی و نمونه‌های منطقه در چین است. در بررسی مقالات چینی، اعتبار فرضیه EKC بیشتر از عدم وجود آن یافت می‌شود. این مطالعه ادبیات تجربی EKC را در چین مرور کرده و مشاهده شده که ۹۲ مطالعه از ۱۱۷ مطالعه وجود فرضیه EKC را در چین تأیید می‌کنند. اما در این بین ۱۷ مطالعه نتوانستند فرضیه EKC را تأیید کنند، نتایج پژوهش تأیید می‌کند که اگر یک مطالعه تجربی از یک پروکسی آلودگی جهانی استفاده کند، احتمال وجود منحنی کوزنتس ۵/۰۸ برابر بیشتر از عدم وجود آن است. علاوه بر این، اگر یک مطالعه تجربی از داده‌های استانی، شهری، صنعتی یا بخشی چینی استفاده کند، احتمال وجود منحنی کوزنتس ٤/٤٦ برابر بیشتر از عدم وجود آن است.
(میشراموکش کوما[1])	۲۰۲۰	------	به بررسی استراتژی‌های مختلف برای حفاظت از آب و هوای جهانی، محیط زیست و مکانیسم رشد سبز برای منابع طبیعی می‌پردازد و الزاماتی چون توافق‌نامه آب و هوای پاریس و دستور کار ۲۰۳۰ را بررسی می‌کند. عنوان می‌شود که ما به این دلیل به رشد سبز نیاز داریم که خطرات توسعه در حال افزایش است، تغییرات اقلیمی، کمیابی آب و آلودگی منابع آن، از دست دادن تنوع زیستی و تخریب اکوسیستم‌ها و منابع زمین خطراتی را برای بشریت و به‌خصوص افراد فقیر ایجاد می‌کند. به منظور جلوگیری از بلایای زیست‌محیطی با ابعاد جهانی، باید انتشار آلودگی و مصرف منابع تجدیدناپذیر را در طی چند دهه به‌طور اساسی کاهش دهیم. این امر مستلزم در نظر گرفتن مکانیسم مدل منحنی کوزنتس و اصلاحات بیشتر برای توسعه سیستم حاکمیت اقتصادی جهانی و بازسازی سیستم‌های تشویقی در سطح ملی است.
(استرن دیوید[2])	۲۰۱٤	--------	در مقاله‌ای تحت عنوان منحنی زیست‌محیطی کوزنتس: یک آغازگر. منحنی کوزنتس زیست‌محیطی Ekc[3] را یک رابطه فرضی بین شاخص‌های مختلف تخریب محیط زیست و درآمد سرانه معرفی می‌کند. و عنوان می‌شود همان‌طورکه اقتصادها غنی‌تر می‌شوند، اثرات زیست‌محیطی ابتدا افزایش می‌یابد اما در نهایت کاهش می‌یابد. درواقع، اگرچه برخی از انواع تخریب محیط زیست در کشورهای توسعه‌یافته کاهش یافته است، اما در برخی دیگر کاهش نیافته‌اند. شواهد ارائه‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که تجزیه و تحلیل آماری که منحنی کوزنتس زیست‌محیطی بر آن استوار

1. Mishra, M, k.
2. Stern, D.
3. Environmental Kuznets Curve

ب) مطالعات خارجی انجام‌شده			
نویسندگان	سال	منطقه	نتیجه
			است، قوی نیست. شواهد کمی برای یک مسیر U شکل معکوس مشترک وجود دارد که کشورها با افزایش درآمد از آن پیروی می‌کنند. اما باید با رویکردهای اقتصادسنجی جدیدتر آزمایش شود ولی بعید به نظر می‌رسد که EKC یک مدل کامل باشد.
(شهباز و همکاران[1])	۲۰۱۳	رومانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰	هدف این مقاله بررسی رابطه پویا بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن است. در انجام این کار، نتایج رابطه بلندمدت بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلاینده‌های انرژی تأیید می‌شود همچنین شواهد نشان می‌دهد که منحنی زیست محیطی کوزنتس هم در دوره‌های بلند و هم کوتاه‌مدت در رومانی یافت می‌شود. نتایج وجود رابطه بلندمدت بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلاینده‌های انرژی را هم تأیید می‌کند. طبق توافق اتحادیه اروپا، رومانی باید سهم منابع تجدیدپذیر را در ترکیب کلی انرژی و پروژه‌های بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مسکونی، صنعت و حمل‌ونقل افزایش دهد علاوه بر این، به نظر پژوهشگران، مقام‌های رومانیایی می‌توانند از چندین ابزار سیاسی دیگر مانند: تجدید ساختار مالیات‌های زیست‌محیطی و بازنگری در نرخ مالیات انرژی، حمل و نقل و مالیات آلودگی استفاده نمایند.

٤. روش‌شناسی

مدل تجربی مطالعهٔ حاضر به دو شیوه صورت می‌گیرد. در ابتدای امر به بررسی و تجزیه و تحلیل متغیرها و تخمین رگرسیون متغیرهای انتخابی در مطالعهٔ حاضر پرداخته و سپس، با توجه به نتایج به دست آمده در قسمت اول با توجه به پویایی سیستم‌ها اقدام به رسم نمودار حالت ـ جریان نموده و به اعمال سناریوهای مربوطه می‌پردازیم. بنابراین مطالعه حاضر با هدف تبیین پویا رابطه تولید ناخالص داخلی و تقاضای کل انرژی ایران در چارچوب منحنی کوزنتس، با بهره‌گیری از داده‌های موجود در بانک جهانی، بانک مرکزی و ترازنامه انرژی اقدام به انجام آزمون مانایی در مرحلهٔ اول کرده، که نتایج نشان می‌دهد بهترین مدل برای تخمین در دوره زمانی ۱۳۷۹ الی ۱۳۹۹، روش ARDL می‌باشد.

این مدل در زمینهٔ تقاضای حامل‌های انرژی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته که از سویی توانایی استفاده هم‌زمان از متغیرهای مانا و متغیرهایی که با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند

1. Shahbaz et al.

و از سوی دیگر به دلیل در نظر گرفتن پویایی کوتاه‌مدت و بلندمدت برای پیش‌بینی بسیار مفید واقع شده و از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل است که منجر به استفاده گسترده از آن شده است (حافظی و دلفان، ۱۴۰۱) با توجه به موارد ذکرشده و با تخمین مدل نتایج حاصل از تخمین در این دوره زمانی در جدول ۲ بخش نتایج قابل مشاهده می‌باشد.

سپس در قسمت دوم مدل تجربی با استفاده از سیستم‌های پویا و با توجه به رگرسیون ۱ مدلی پویا را با توجه به هدف مطالعه در نظر می‌گیریم که در شکل ۶ نمودار حلقوی علی و معلولی مورد بررسی در این مطالعه مشاهده می‌شود. می‌دانیم که برای درک جهان دو نگرش پویا و ایستا مطرح است. در نگرش ایستا به جهان در یک مقطع زمانی علت یا علل یک رخداد بررسی و جستجو می‌شود و به زمان‌های قبل و بعد از رخداد اصلاً توجه نمی‌شود. اما در نگرش پویا، زمان یک بعد مهم و حیاتی در تفکر و تحلیل است همچنین در نگرش پویا، برعکس نگرش ایستا، وقایع و رخدادها کانون توجه نیستند، بلکه روندهایی مورد توجه‌اند که رخدادها می‌توانند نمودی از آن روندها باشند. (مشایخی علینقی، ۱۳۹۶) بنابراین با توجه به اهمیت پویایی سیستم‌ها در بخش دوم مدل به پویایی مدل می‌پردازیم.

$$LT_{it}=\beta_0+\beta_1 LCO2_{it}+\beta_2 LP_{it}+\beta_3 LGDP_{it}+\beta_4 LGDPP_{it}+\beta_5 LURB_{it}+\beta_6 LAE_{it}+ \beta_7 LMB_{it}+\beta_8 LPE_{it}+\varepsilon_t \quad (۱)$$

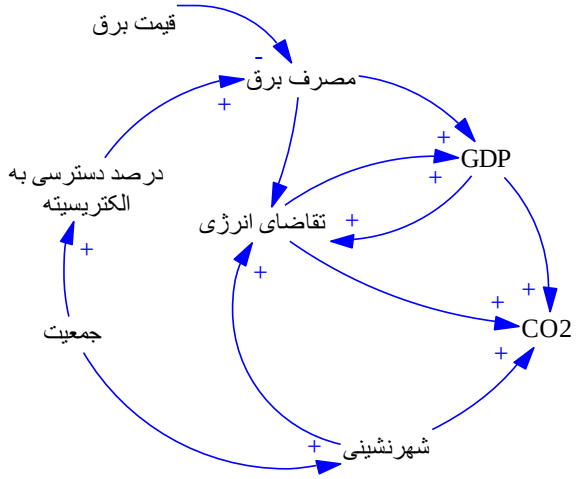
جدول ۲. سنجش مانایی متغیرها

متغیر	نماد متغیر	مانایی
تقاضای انرژی	LT	I(1)
جمعیت	LP	I(0)
دی‌اکسیدکربن	LCO2	I(1)
GDP	LGDP	I(0)
GDP^2	LGDPP	I(0)
شهرنشینی	LURB	I(0)
درصد دسترسی به الکتریسیته	LAE	I(0)
مصرف برق	LMB	I(0)
قیمت انرژی	LPE	I(0)

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طورکه اشاره شد، در قسمت دوم مدل تجربی، با استفاده از رگرسیون ۱ و با توجه به روابط موجود بین متغیرها، نمودار حلقوی علی و معلولی در این مطالعه در شکل ۳ رسم شده و روابط بین متغیرها با علامت‌های مثبت و منفی مشخص شده است.

شکل ۳. نمودار حلقوی علّی و معلولی در این مطالعه



منبع: یافته‌های پژوهش

۵. یافته‌های تجربی

با تخمین مدل طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۹ نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت تمامی متغیرها هم در پنج درصد و هم در ده درصد معنادار هستند. از طرفی ضریب تعیین در این مدل تقریباً ۹۹ درصد است که بدان‌معنی است که ۹۹ درصد تغییرات در تقاضای انرژی به دلیل تغییر در متغیرهای انتخابی مورد مطالعه در این مقاله بوده که در این راستا حدود ۵۹ درصد تغییرات تقاضای انرژی به دلیل تغییرات در تولید ناخالص داخلی است که این درصد بسیار بالا نشان‌دهندهٔ این است که افزایش در تولید ناخالص داخلی به تبع نیاز به میزان بالای انرژی دارد که بیانگر تأثیر مثبت و مستقیم میان این دو متغیر است.

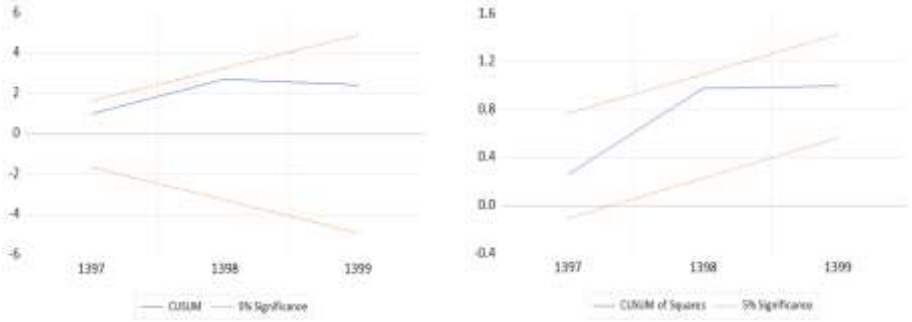
جدول ۳. نتایج و تست‌های مدل تجربی

رابطهٔ کوتاه مدت متغیرها				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.*
LT(-1)	0.412762	0.018092	22.81452	0.0000
LGDP	59.611551	5.242543	11.37073	0.0000
LGDPP	-0.801921	0.070678	-11.34608	0.0000
LURB	4.709939	0.866192	5.437526	0.0003
LMB	-0.976513	0.031851	-30.65919	0.0000
LCO2	0.227226	0.044860	5.065185	0.0005
LP	3.428184	0.456309	7.512851	0.0000
LPE	-0.105467	0.004011	-26.29590	0.0000
LAE	-4.565995	0.333294	-13.69961	0.0000
C	-1130.209	100.2287	-11.27630	0.0000
R-squared	0.994216			
Adjusted R-squared	0.989010			
F-statistic	190.9794			
Prob(F-statistic)	0.000000			
رابطهٔ بلندمدت				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LGDP	101.5117	11.89500	8.533983	0.0000
LGDPP	-1.365582	0.160294	-8.519252	0.0000
LURB	8.020499	1.276878	6.281336	0.0001
LMB	-1.662891	0.062985	-26.40146	0.0000
LCO2	0.386941	0.066403	5.827137	0.0002
LP	5.837813	0.940478	6.207286	0.0001
LPE	-0.179598	0.006380	-28.15176	0.0000
C	-1924.620	226.8993	-8.482265	0.0000
EC = LT - (10/5117*LGDP -/13656*LGDPP +8/0205*LURB -1/6629*LMB + 0/3869*LCO2 + 5.8378*LP - 0.1796*LPE – 1924/6200)				
آزمون خود همبستگی	Prob. F(1,9)		0.1571	
همسانی واریانس براش- پیگن	Prob. F(8,11)		0.4510	
همسانی واریانس آرچ	Prob. F(1,17)		0.5519	
CointEq(-1)*	-0.587237	0.103970	-5.648163	0.0002

منبع: یافته‌های پژوهش

علاوه بر این، با انجام آزمون ثبات و پایداری مشخص می‌شود که در سال‌های مورد بررسی پژوهش، ثبات و پایداری وجود دارد.

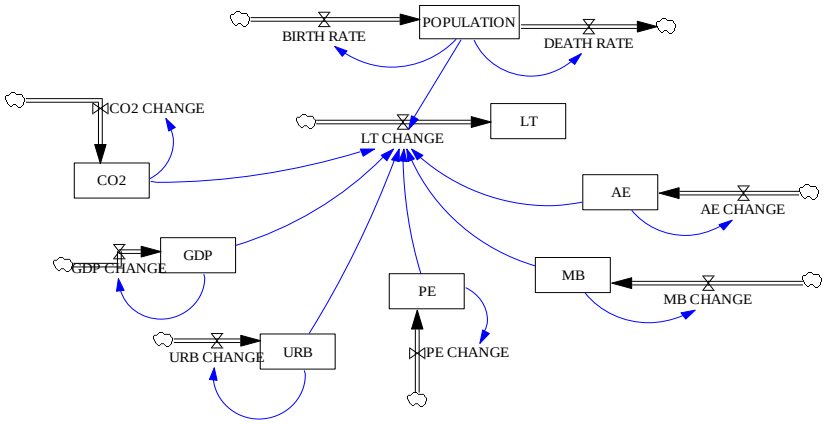
شکل ٤. آزمون پایداری



منبع: یافته‌های پژوهش

در قسمت دوم مدل تجربی لازم است به این نکته اشاره شود که نمودارهای علی معلولی در بسیاری از موقعیت‌ها مفیدند این نمودارها برای نمایش وابستگی‌های متقابل و فرآیندهای بازخوردی مناسب هستند و در شروع یک پروژه مدل‌سازی نقش مؤثری در ارائه مدل‌های ذهنی ایفا می‌کنند اما نکته اینجاست که این نمودارها محدودیت‌هایی نیز دارند. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های نمودارهای علی ناتوانی آن‌ها در نمایش ساختار متغیرهای حالت و جریان سیستم‌ها است. (استرمن[1]، ۲۰۰۰) بنابراین، با توجه به نمودار حلقوی رسم‌شده و رگرسیون ۱ در این مطالعه اقدام به رسم نمودار حالت ـ جریان کرده که در شکل ۵ قابل مشاهده است.

شکل ۵. نمودار حالت ـ جریان

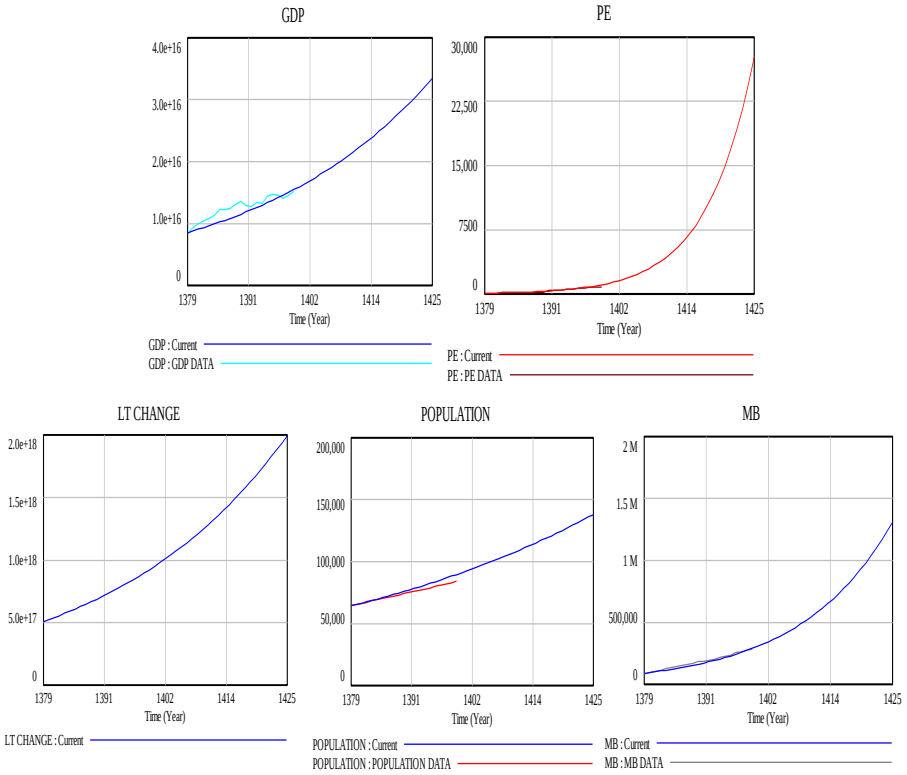


منبع: یافته‌های پژوهش

1. Sterman, J, D.

سپس با اجرای مدل، خروجی‌های موجود در شکل شماره ۶ حاصل شده که همان‌طور که مشاهده می‌شود روند داده‌های حقیقی با روند تخمین زده شده نزدیک بوده و می‌توان گفت مدل با توجه به تولید مجدد رفتار (اعمال و مقایسه داده‌های تاریخی موجود و روند شبیه‌سازی‌شده مدل) از اعتبار مناسبی برخوردار است. بنابراین در ادامه مدل تجربی به سناریوسازی و اعمال سیاست‌های رشد اقتصادی پرداخته تا تغییرات حاصل از رشد اقتصادی بر میزان کل مصرف انرژی مورد تبیین قرار گیرد.

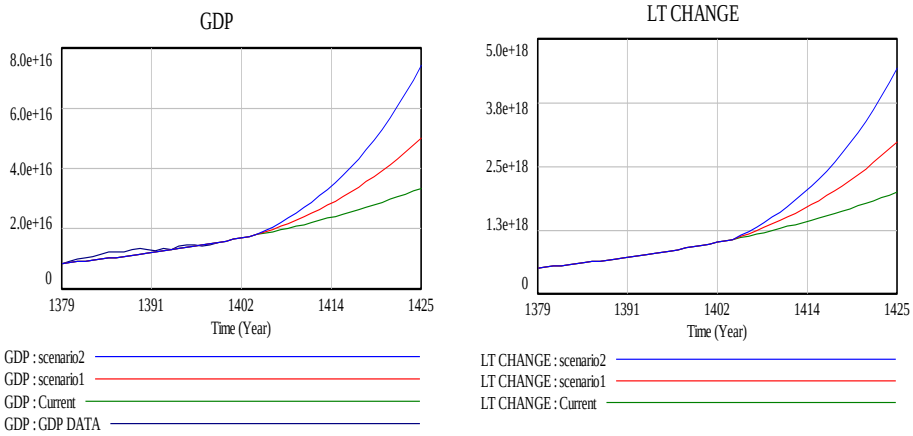
شکل ٦. نتایج اولیه مدل قبل از انجام سناریوها



منبع: یافته‌های پژوهش

برای سناریوسازی در این مطالعه، اعمال دو سناریو با رشدهای اقتصادی پنج و هفت درصدی فرض شده است که نتایج هر سناریو در شکل ۷ قابل مشاهده است و طبیعی است که با رشد اقتصادی بیشتر در هر سناریو میزان تقاضای انرژی در هر سناریو افزایش یابد.

شکل ۷. نتایج حاصل از اعمال سناریوها



منبع: یافته‌های پژوهش

٦. بحث و نتیجه‌گیری

انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت، رشد ۱۰۶ درصدی را طی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ داشته و به عدد ۶۴۲/۶۱۸ میلیون تن رسیده است و موجب شده ایران در رتبهٔ اول منطقه قرار بگیرد. یاقته‌های این مقاله با هدف تبیین رابطهٔ بین تولید ناخالص داخلی و مصرف کل انرژی در ایران با استفاده از دو مدل ARDL و پویا در چارچوب منحنی کوزنتس بیانگر این است که ۹۹ درصد تغییرات در کل مصرف انرژی به دلیل متغیرهای انتخابی در مدل مورد بررسی بوده که در این بین حدود ۶۰ درصد این تغییرات توسط متغیر تولید ناخالص داخلی ایران توضیح داده می‌شود و تمامی متغیرهای انتخابی در این پژوهش هم در بلندمدت و هم در کوتاه‌مدت در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و از اعتبار مناسبی برخوردار می‌باشند، سپس در ادامه با استفاده از اطلاعات موجود در بخش اول مدل تجربی اقدام به رسم نمودارهای حلقوی علی معلولی و حالت جریان کرده و با اعمال دو سیاستِ رشد پنج درصدی و هفت درصدی در قالب دو سناریو، یافته‌های موجود در سال‌های موردِ بررسی بیانگر این موضوع می‌باشند که:

– رابطه‌ای مثبت بین تولید ناخالص داخلی و کل مصرف انرژی برقرار بوده و با افزایش تولید ناخالص داخلی ما شاهد افزایش کل مصرف انرژی نیز خواهیم بود.

– نتایج نشان‌دهنده این است که ایران در بخش اول منحنی کوزنتس بوده که این موضوع بیانگر ارتباط خطی بین این دو متغیر است و با افزایش تولید ناخالص داخلی طبیعتاً شاهد افزایش در مصرف انرژی خواهیم بود و به دلیل متکی بودن ایران به سوخت‌های فسیلی شاهد افزایش در میزان آلودگی نیز خواهیم بود.

بنابراین نتایج حاصل از مدل تجربی در قسمت اول و دوم نشان می‌دهند که کشور ایران در مرحلهٔ اول منحنی زیست‌محیطی کوزنتس قرار دارد که با مطالعات (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰)،(استادزاده و بهلولی، ۱۳۹۴)، (سیفی‌پور رؤیا، ۱۴۰۰) و (مسنن مظفری و صبوحی، ۱۳۹۲) همسان بوده و این بدان‌معنی است که با افزایش تولید ناخالص داخلی ایران شاهد افزایش میزان مصرف انرژی در کشور بوده و با توجه به اتکای کشور به سوخت‌های فسیلی، به تبع میزان آلودگی هم‌زمان با افزایش مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

این مطالعه با توجه به تأثیر عوامل اثرگذار دیگر بر تقاضای انرژی پیشنهاد می‌دهد که تأثیر متغیرهایی مانند دما و شرایط آب و هوایی و نوع و تعداد وسایل نقلیه در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد زیرا می‌توان در قسمت مدل‌سازی پویا حلقه‌های علّی ـ معلولی دیگری نیز براساس این متغیرها اضافه نمود و بازخورد حلقه‌های دیگر را در مدل مشاهده کرد. با توجه به یافته‌های این پژوهش توصیه سیاستی‌ای که در این مقاله می‌تواند مورد توجه قرار گیرد تشویق متقاضیان انرژی برای استفاده از سیستم‌های کارآمدتر انرژی جهت مدیریت تقاضای انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی و سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (ساخت پنل‌های خورشیدی و ...) و توجه به اهداف ۱۷گانه اهداف توسعه پایدار به‌خصوص تحقق اهداف شماره ۱۱ (شهرهای پایدار)، شماره ۷ (انرژی پاک و مقرون به صرفه) و شماره ۱۳ (اقدام برای آب و هوا) که در راستای کاهش کربن است، همت گمارد چرا که می‌تواند موجب رشد و توسعهٔ اقتصادی از یک‌سو و سبب گذار از مرحلهٔ اول منحنی زیست‌محیطی کوزنتس را از سوی دیگر فراهم آورد.

۷. تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

۸. سپاسگزاری

نویسندگان این پژوهش از همکاران و داوران محترم مجله کمال تشکر و سپاس را دارند.

ORCID
Amirreza Khalili https://orcid.org/0009-0000-4971-079X
Mojtaba Bahmani https://orcid.org/0000-0003-0257-5775
Mehdi Nejati https://orcid.org/0000-0003-4103-869X

۹. منابع

احمدیان، مجید؛ عبدلی، قهرمان؛ جبل عاملی، فرخنده؛ شعبان‌خواه، محمود و خراسانی، سیدعادل. (۱۳۹۸). استخراج منحنی پویای محیط زیست کوزنتس. *اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی)*، ۱۶(۲)، ۱-۳۶. https://sid.ir/paper/382512/fa

امینی، امراله و عموزاد خلیلی، حسن. (۱۴۰۰). الویت‌بندی روابط متقابل سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در توسعه پایدار. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*. ۱۰(۳۸)، ۹۵-۶۵

doi: 10.22054/jiee.2022.65768.1883

اویسی‌همایونی‌فر، مصطفوی و ناجی میدانی، سیدمهدی. (۱۴۰۰). اثر تغییرات بهره‌وری بخش‌های اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، انرژی گرمایی، رشد و توسعه اقتصادی. *مدلسازی اقتصادی*، ۱۵(۵۴)، ۷۶-۶۷.

تاجمیر ریاحی، ریحانه. (۱۴۰۰). *درمسیر رشد سبز: چگونه صنایع سبز به محیط زیست حیات دوباره می‌بخشند*. چاپ اول، انتشارات کنکاش.

حافظی، حسین و دلفان، محبوبه. (۱۴۰۱). پیش‌بینی بلندمدت تقاضای برق ایران (رویکرد مبتنی بر سناریوسازی با استفاده از رهیافت ترکیبی ARDL و ARIMA). *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۱(۴۴)، ۷۱-۴۱. doi:10.22054/jiee.2022.70675.1959

حافظی، حسین و ممی‌پور، سیاب. (۱۴۰۳). بررسی اثرات پویای مصرف سوخت‌های فسیلی روی انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۱)، ۸۰۴۵-۸۰۳۱.

doi:10.22034/jess.2023.395409.2024

خوش اخلاق، رحمان؛ دلالی اصفهانی، رحیم و یارمحمدیان، ناصر.(۱۳۹۰). تحلیل منحنی زیست‌محیطی کوزنتس با استفاده از فرآیند کیفیت زیست‌محیطی مشمول انتخاب سبد مصرفی خانوار. تحقیقات مدلسازی اقتصادی. ۲(۶) ،۱۰۴-۸.

سلمان پور زنوز، علی. (۱۳۹۹). ارزیابی مسیر بهینه رشد اقتصادی، آلودگی و انباشت سرمایه: رویکرد الگوی سیستم پویا. *نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۷(۲)، ۷۶-۵۳.

doi:10.22034/ecoj.2020.11057

سیفی‌پور، رویا. (۱۴۰۰). بررسی منحنی کوزنتس محیط زیستی در بخش صنعت اقتصاد ایران. *انسان و محیط زیست*، ۱۹(۳(۵۸ پیاپی))، ۱۵-۱. https://sid.ir/paper/1042294/fa

شکیبایی، علیرضا؛ حسینی، سیدمهدی و خزاعی، صادق. (۱۳۹۴). *بررسی اثر مالیات انرژی بر شدت انرژی در کشورهای منتخب OECD*. همایش سیاست‌های مالی و مالیاتی ایران
https://sid.ir/paper/893004/fa

صادقی شاهدانی، مهدی؛ محمدی سمچولی، علی‌اکبر و رستگاری کوپایی، محمدجواد. (۱۴۰۰). بررسی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی برای انتشار گاز N2O در ایران با مدل ARDL. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۳ (۶ (پیاپی ۱۰۹))، ۱۸۶-۱۷۵.
https://sid.ir/paper/950343/fa

عسگری، حشمت‌اله؛ هواس‌بیگی، فاطمه و مریدیان، علی. (۱۴۰۱). آزمون فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در اقتصاد ایران با تأکید بر نقش متغیرهای توسعه‌ای: رویکرد ARDL تعمیم‌یافته با شکست ساختاری. *تحلیل‌های اقتصادی توسعه ایران*، ۸(۱)، ۲۳۴-۱۹۹.
doi:10.22051/ieda.2021.37228.1292

علیشیری، هدیه؛ سجادی‌فر، سیدحسین و محمدباقری، اعظم. (۱۳۹۶). بررسی فرضیات منحنی کوزنتس محیط زیستی (مطالعه موردی آلودگی آب). *مجله آب و فاضلاب*، ۲۸(۱)، ۶۴-۵۷.
doi:10.22093/wwj.2017.39474

غزنوی، شیوا؛ رفیعی، حامد. (۱۴۰۲). بررسی اثر تحقیق و توسعه بر کیفیت محیط زیست با تأکید بر ساختار منحنی کوزنتس. *اقتصاد و بازار کشاورزی* ، ۱ (۱) ،۹۳-۸۶.

فلاحی، فیروز؛ اصغرپور، حسین؛ بهبودی، داوود و پورنظمی، سیمین. (۱۳۹۱). آزمون منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در ایران با استفاده از روش LSTR. مطالعات اقتصاد انرژی، ۹(۳۲)، ۹۳-۷۳.
https://sid.ir/paper/99490/fa

قزلباش، ندا؛ فرقانی، محمدعلی و کاظمی، مهدی. (۱۳۹۵). *ارزیابی روش‌های تولید مس براساس معیارهای تولید سبز (مطالعه موردی: شرکت ملی صنایع مس ایران)*. کنفرانس ملی مدیریت و اقتصاد جهانی.
https://sid.ir/paper/873858/fa

کلاوس، شواپ و تیه‌ری، ماله‌ره، ترجمه: حسنی علیرضا (۱۴۰۰). *کووید-۱۹ بازتنظیم بزرگ*. تهران شابک ۹۷۸-۶۰۰-۴۹۰-۲۸۳-۰

محجوب، امیرعلی و نوراللهی، یونس. (۱۴۰۰). تحلیل روند مصرف انرژی و تکنولوژی‌های استحصال آب کشور و بررسی جایگزینی برق خورشیدی. *اکوهیدرولوژی*، ۸(۴)، ۹۲۳-۹۰۷.
doi:10.22059/ije.2021.314883.1439

مشایخی، علینقی. (۱۳۹۸).*پویایی‌شناسی سیستم‌ها ـ جلد یک: دیدگاه سیستمی*. انتشارات آریانا قلم، تهران، ۹۷۸-۶۰۰-۷۶۷۷-۲۵-۴

ملکیان، منصوره. (۱۳۹۹). فرصت‌ها و تهدیدهای ویروس کرونا برای محیط زیست. *رهیافت*، ۳۰(۷۹)، ۷۶-۶۳. https://sid.ir/paper/952557/fa

References

Acevedo-Ramo, J. A., Valencia, C. F., & Valencia, C. D. (2023). The Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Colombia: Impact of Economic Development on Greenhouse Gas Emissions and Ecological Footprint. *Sustainability*, 15(4). https://doi.org/10.3390/su15043738

Ajmi, A. N., Bekun, F. V., Gyamfi, B. A., & Meo, M. S. (2023). A bibliometric review analysis into environmental Kuznets curve phenomenon: A retrospect and future direction. *Heliyon*, 9(11), e21552. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21552

Amer, E. A., Meyad, E. M., Meyad, A. M., & Mohsin, A. K. (2024). The impact of natural resources on environmental degradation: A review of ecological footprint and CO2 emissions as indicators. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1368125. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1368125

Ayad, H., Shuaib, M., Hossain, M., Haseeb, M., Kamal, M., & Rehman, M. (2024). Re-examining the Environmental Kuznets Curve in MENA Countries: Is There Any Difference Using Ecological Footprint and CO2 Emissions? *Environmental Modeling & Assessment*. https://doi.org/10.1007/s10666-024-09977-7

Aydin, M., Koç, P., & Sahpaz, K. (2023). Investigating the EKC hypothesis with nanotechnology, renewable energy consumption, economic growth and ecological footprint in G7 countries: panel data analyses with structural breaks. *Energy Sources*. Part B Economics, Planning and Policy, 18. https://doi.org/10.1080/15567249.2022.2163724

Azam Khan, M., Rehman, Z., Prof. of Economics, H. K., & Haouas, I. (2024). Empirical testing of the environmental Kuznets curve: evidence from 182 countries of the world. *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s10668-024-04890-1

Caporin, M., Cooray, A., Kuziboev, B., & Yusubov, I. (2023). New insights on the environmental Kuznets curve (EKC) for Central Asia. *Empirical Economics*, 66. https://doi.org/10.1007/s00181-023-02520-9

Farooq, A., Haider, A., Ahad, M., Shabbir, G., & Imran, Z. (2021). A validity of environmental Kuznets curve under the role of urbanization, financial development index and foreign direct investment in Pakistan. *Journal of Economic and Administrative Sciences*, ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/JEAS-10-2021-0219

Hamaide, B. (2022). Sustainability and the Environmental Kuznets Curve Conjecture: An Introduction. *Sustainability*, 14(12). https://doi.org/10.3390/su14127372

Hosseini, S. M., Saifoddin, A., Shirmohammadi, R., & Aslani, A. (2019). Forecasting of CO2 emissions in Iran based on time series and regression analysis. *Energy Reports*, 5, 619-631. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.05.004(In Persian).
https://climateknowledgeportal.worldbank.org
https://www.iea.org/countries/iran/emissions
https://www.worldbank.org

IEA (2023), Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, *IEA*, Paris https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach, Licence: CC BY 4.0

Kalim, R., Ul-Durar, S., Iqbal, M., Arshed, N., & Shahbaz, M. (2024). Role of knowledge economy in managing demand-based environmental Kuznets Curve. *Geoscience Frontiers*, *15*(4), 101594. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101594

Madani, K. (2021). Have International Sanctions Impacted Iran's Environment? *World*, *2*(2), 231-252. https://doi.org/10.3390/world2020015

Mahmood, H., Furqan, M., Hassan, M. S., & Rej, S. (2023). The Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis in China: A Review. *Sustainability*, *15*(7). https://doi.org/10.3390/su15076110

Mishra, Mukesh Kumar, 2020. The Kuznets Curve for the Sustainable Environment and Economic Growth. *EconStor Preprints* 216734, ZBW-Leibniz Information Centre for Economics.

Ostadzad, A. H., & Bahlouli, P. (2015). The Impact of Renewable Energy on the Environmental Kuznets Curve in Iran. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 2(2), 127-154.(In Persian).

Shahbaz, M., Mutascu, M., & Azim, P. (2013). Environmental Kuznets Curve in Romania and the Role of Energy Consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *18*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.012

Shahbaz, M., Nejati, M., Du, A. M., & Jiao, Z. (2024). A recursive dynamic CGE approach to investigate environmental Kuznets curve. *Journal of Environmental Management*, *370*, 122359. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122359

Sterman, J,D.(2000*). Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, first volume (292-300).

Stern, D. (2014). *The Environmental Kuznets Curve: A Primer* (CCEP Working Papers). Centre for Climate & Energy Policy, Crawford School of Public Policy, The Australian National University. https://EconPapers.repec.org/RePEc:een:ccepwp:1404

Sun, Y., Bao, Q., Siao-Yun, W., ul Islam, M., & Razzaq, A. (2022). Renewable energy transition and environmental sustainability through economic complexity in BRICS countries: Fresh insights from novel Method of Moments Quantile regression. *Renewable Energy*, 184, 1165-1176.

Tahbaz, Morad. (2016). Environmental Challenges in Today's Iran. *Iranian Studies*. 49. 943-961. 10.1080/00210862.2016.1241624.

Taseh, M. (2022*). The effect of global warming on climatic changes in Iranian cities and environmental needs*. The second national conference and the first international conference of the future, the city of the future: focusing on sustainable smart cities. [In Persian] https://civilica.com/doc/2061372

Wang, Q., Ren, F., Li, R., Correspondence, Q., Wang, R., & Li. (2023). Exploring the impact of geopolitics on the environmental Kuznets curve research. *Sustainable Development*. https://doi.org/10.1002/sd.2743

Wang, S., Zafar, M., Vasbieva, D., & Yurtkuran, S. (2023). Economic growth, nuclear energy, renewable energy, and environmental quality: Investigating the environmental Kuznets curve and load capacity curve hypothesis. *Gondwana Research*, 129. https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.06.009

.

استناد به این مقاله: خلیلی، امیررضا؛ بهمنی، مجتبی؛ نجاتی، مهدی. (۱۴۰۴). تبیین پویای رابطه تولید ناخالص داخلی و تقاضای کل انرژی ایران در چارچوب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵۵ (۱۴)، ۱۴۲-۱۱۳.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.