FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 4, Winter (2026)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

The Impact of Government Effectiveness on Carbon Emission Intensity in the Power Sector within the Framework of the Environmental Kuznets Curve: A Case Study of Iran

Hakimeh aramesh[1]; Zeinolabedin Sadeghi[2*]; Seyyed Abdul Majid Jalaee Esfandabadi[3], Salim karimi takelo[4]

1. Ph.D Student of Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
[*]2. Associate Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
3. Professor, Faculty of Management and Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
4. Associate Professor Department of Management, Valiasr University, Rafsanjan Kerman, Iran.
[*]Email Address: z_sadeghi@uk.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2025/10/16
Revised Date:
2025/11/24
Accepted Date:
2025/11/30
Published Date:
2026/01/28

Keywords:
Electricity Industry,
Environmental Kuznets Curve,
Sustainable Growth,
Carbon Emissions,

ABSTRACT

In the path toward sustainable development, considering the environmental consequences of production, industrial, and construction activities is not a luxury choice but a vital necessity. Given that Iran's power sector relies heavily on fossil fuels for electricity generation, this study aims to examine the factors influencing carbon emission intensity in Iran's electricity industry within the framework of the Environmental Kuznets Curve (EKC). To this end, the study employs the ARDL method over the period 2000–2023 to analyze the issue. The findings indicate that Iran is currently in the initial phase of the Kuznets curve (the ascending part), and government effectiveness, as a key variable, plays a prominent role in the sector's carbon emissions. Furthermore, considering the importance of the topic and adopting an innovative approach, the study extends the empirical model using dynamic systems over the period 2000–2071. The results reveal that the most effective scenario among those tested is the simultaneous increase in economic growth and improvement in government efficiency, which can lead to sustainable development while reducing emissions. A key policy recommendation arising from this study is that the government should enhance efficiency and reform the institutional structure of the electricity sector, implement appropriate regulatory and pricing policies, and ensure electricity prices reflect real costs while supporting vulnerable groups. These measures would help improve consumption patterns and consequently reduce the sector's carbon emission intensity.

Cite this article: Hakimeh aramesh , Zeinolabedin Sadeghi , Seyyed Abdul Majid Jalaee Esfandabadi, Salim karimi takelo (2026) , The Impact of Government Effectiveness on Carbon Emission Intensity in the Power Sector within the Framework of the Environmental Kuznets Curve: A Case Study of Iran, Journal of Environmental Sciences Studies, 10(4) , Pages 10848-10868.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The energy supply sector (including electricity, heating, and other forms of energy) is the largest source of greenhouse gas emissions worldwide, accounting for approximately 35% of total global emissions. Achieving carbon neutrality largely depends on the electrification of a growing number of sectors, provided that the electricity is generated primarily from renewable and carbon-free sources. Despite global progress toward the development of clean energy and the establishment of carbon markets, Iran continues to face numerous challenges in this regard. The lack of infrastructure for emission monitoring and pricing, the heavy reliance on subsidized fossil fuels, weak regulatory frameworks, and limited participation in international carbon reduction mechanisms are among the main obstacles to the expansion of a carbon market in the country. Furthermore, the low share of renewable energy in the national electricity generation mix and the insufficient economic incentives for producers to adopt low-carbon technologies have caused Iran's electricity sector to lag behind the global energy transition. Accordingly, this study seeks to examine the factors influencing carbon emission intensity in Iran's power industry, considering the aforementioned issues.

Materials and methods

This study is conducted based on available data and employs econometric techniques for analysis. In the first stage, the ARDL (Autoregressive Distributed Lag) approach was selected as the appropriate estimation method, since it can be applied when variables exhibit different levels of stationarity (up to order one) and allows for the estimation of both short-run and long-run relationships among variables. In the second stage, the system dynamics technique was utilized for a more comprehensive analysis of the issue. Accordingly, the innovation of this research lies in providing a dynamic analysis of the impact of government effectiveness on the carbon emission intensity of the power industry.

Results and discussion

The estimation results for the period 2000–2023 indicate that both real GDP (LGDP) and its squared term ($LGDP^2$) have significant effects on carbon emission intensity in the electricity sector. The positive coefficient of LGDP and the negative coefficient of $LGDP^۲$ in the long run confirm the existence of an Environmental Kuznets Curve (EKC) relationship. This implies that in the early stages of economic growth, an increase in GDP leads to higher pollution levels; however, after surpassing a certain income threshold, this effect reverses, and economic growth becomes associated with lower carbon emissions. This finding is consistent with the theoretical foundations of the EKC hypothesis and highlights the importance of technological advancement and efficiency improvement at higher stages of development. Moreover, the government effectiveness variable, as a key factor in both the short-run and long-run models, exhibits negative and statistically significant coefficients, suggesting that enhanced governance quality and effective policy-making can contribute to reducing carbon emissions in the electricity sector.

Conclusion

The results of the model indicate that real GDP and its squared term have significant effects on carbon emission intensity, confirming the presence of an inverted U-shaped relationship between economic growth and pollution. In addition, government effectiveness shows a negative and significant impact on carbon intensity in both the short and long run, highlighting the crucial role of effective policymaking in reducing emissions. Moreover, imports were found to have a reducing effect on carbon emissions, while exports exerted an increasing effect. Income inequality (measured by the Gini coefficient) also demonstrated a positive and significant influence on emissions. In the second stage, using system dynamics modeling over the period 2000–2066, the results of scenario simulations revealed that a 1.5% increase in government efficiency leads to a sustained reduction in carbon emissions in the electricity sector. Furthermore, a 2% economic growth initially raises emissions in the short run (due to the scale effect), but in the long run, through structural transformation and technological advancement, it can contribute to emission reduction. Therefore, the combination of economic growth and improved government efficiency forms the optimal scenario, ensuring the simultaneous achievement of economic development and environmental sustainability.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۴
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X
FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

تاثیر اثربخشی دولت بر شدت انتشار کربن صنعت برق در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس: مطالعه موردی کشور ایران

حکیمه آرامش [۱]، زین العابدین صادقی [۲*]، سید عبدالمجید جلایی [۳]،سلیم کریمی تکلو [۴]
۱- دانشجوی دکتری اقتصاد، بخش اقتصاد،دانشکده مدیریت و اقتصاد،دانشگاه شهید باهنر،کرمان، ایران
*۲- دانشیار، بخش اقتصاد،دانشکده مدیریت و اقتصاد،دانشگاه شهید باهنر،کرمان، ایران
۳- استاد، بخش اقتصاد،دانشکده مدیریت و اقتصاد،دانشگاه شهید باهنر،کرمان، ایران
۴- دانشیار، گروه مدیریت، دانشگاه ولیعصر (عج)، رفسنجان، کرمان، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: z_sadeghi@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۷/۲۴
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۹/۰۹
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۱۱/۰۸

چکیده

در مسیر رسیدن به توسعه پایدار، توجه به پیامدهای زیست محیطی فعالیت‌های تولیدی، صنعتی و عمرانی نه یک انتخاب لوکس بلکه یک ضرورت حیاتی است. بدین منظور و با توجه به اینکه صنعت برق ایران متکی به سوخت‌های فسیلی برای تولید برق می‌باشد. بدین منظور این مطالعه در نظر دارد در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس عوامل تاثیر گذار بر شدت انتشار کربن صنعت برق ایران را بررسی نماید بدین منظور با استفاده از روش ARDL طی دوره بازه زمانی ۱۳۷۹ الی ۱۴۰۲ به بررسی این موضوع می‌پردازد. نتایج و یافته‌های این قسمت از تحقیق نشان می‌دهد ایران در مرحله اول منحنی کوزنتس (قسمت صعودی منحنی)قرار داشته و اثر بخشی دولت به عنوان متغیر کلیدی، نقشی برجسته در انتشار کربن این صنعت دارا می‌باشد. در ادامه با توجه به اهمیت موضوع و با رویکرد نوآورانه به کارگیری سیستم‌های پویا در پژوهش حاضر طی بازه زمانی ۱۳۷۹ الی ۱۴۵۰، مدل تجربی توسعه یافته است. یافته‌های این بخش از تحقیق نشان می‌دهد موثرترین سناریو از بین سناریوهای اعمال شده سناریو همزمان افزایش رشد اقتصادی و بهبود کارایی دولت می‌باشد که می‌تواند علاوه بر کاهش انتشار توسعه‌ای پایدار را رقم زند. همچنین توصیه سیاستی که در این مطالعه می‌تواند مورد توجه سیاستگذاران قرار گیرد آن است که دولت با ارتقای کارآمدی و اصلاح ساختار نهادی بخش برق، اجرای سیاست‌های نظارتی و قیمت‌گذاری صحیح و واقعی‌سازی قیمت برق، همراه با حمایت از اقشار آسیب‌پذیر، زمینه اصلاح الگوی مصرف را فراهم کند که در نتیجه آن شدت انتشار این بخش کاهش یابد.

کلید واژه ها:
صنعت الکتریسیته،
منحنی زیست محیطی
کوزنتس،
رشد پایدار،
انتشار کربن.

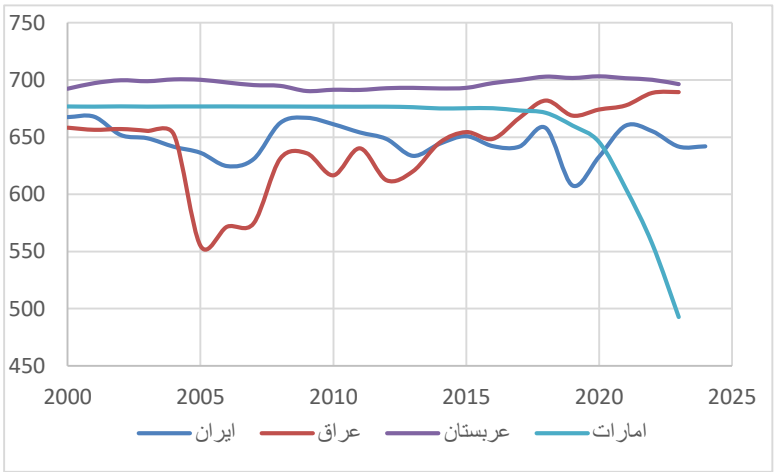
ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2025.553648.2416

۱-مقدمه

تأمین انرژی یکی از اصلی‌ترین معضلات بشر و دنیای صنعتی در عصر حاضر بوده به طوری که کشورهای مختلف دنیا به دنبال دسترسی به منابع انرژی با قابلیت اطمینان و کیفیت بالاتری هستند (معلم و همکاران، ۱۳۹۹). تأمین انرژی الکتریکی از میان انرژی‌های موجود به عنوان یکی از مهم‌ترین نهادهای مورد نیاز کارگاه‌های صنعتی کشور(خوشکلام خسروشاهی موسی، ۱۳۹۶) نقش قابل توجه‌ای در رشد و توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور دارد (چنگی آشتیانی و غفاری، ۱۴۰۰) و از سوی دیگر به دلیل نقل و انتقال آسان در تمام نقاط دنیا، مقبولیتی عام از لحاظ مصرف در بخش خانگی، کشاورزی، تجاری و صنعتی پیدا کرده است.(رمضانیان باجیگیران و همکاران، ۱۳۹۶) در هر کشور، صنعت برق جزو صنایع مادر و راهبردی آن به حساب می‌آید و بر این اساس، ایجاد، ارتقا، توسعه و حفظ زنجیره تولید، انتقال و توزیع برق در سطح هر کشوری از اهمیت فراوانی برخوردار است (کریمی و کریمی، ۱۴۰۳). نقش صنعت برق کشور به اندازه‌ای اساسی است که ادامه فعالیت در بخش‌های مختلف صنایع، کشاورزی و حتی خدمات بدون آن امکان‌پذیر نیست(اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۹) و به مرور زمان اهمیت آن به عنوان نیروی محرکه خدمات رفاهی و صنعتی در حال گسترش است. امروزه انرژی الکتریکی به دلایل گوناگون از جمله آلوده نکردن محیط زیست، قابلیت تبدیل به سایر انرژی‌ها و سهولت استفاده از آن مورد توجه بخش‌های مختلف قرار گرفته است.(مصوری نظام آبادی و جلائی، ۱۴۰۱) بررسی‌های صورت گرفته حکایت از این واقعیت دارد که فعالیت صنعت برق در ایران با همت و تلاش بخش خصوصی آغاز شد. بدین صورت که از اوایل سال‌های ۱۳۰۰ به بعد، با توجه به اینکه بخش خصوصی به مزایای برق پی برد، رفته‌رفته در شهرهای بزرگ و کوچک ایران، تأسیساتی برای تولید و توزیع و فروش برق ایجاد شد(انجمن مدیران صنایع، ۱۴۰۰) که پس از آن مشترکین برق در ایران با توجه به نوع مصرف به بخش‌های خانگی، عمومی، تجاری، صنعتی، کشاورزی و روشنایی معابر تقسیم‌بندی شده‌اند. بر اساس گزارش «۵۷ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار»، تعداد مشترکین برق در پایان سال ۱۴۰۲ به حدود ۴۰,۵ میلیون مشترک رسیده است که نسبت به سال‌های گذشته رشد قابل توجهی داشته است.(وزارت نیرو، ۱۴۰۲) اما با این حال صنعت برق به‌عنوان یکی از ارکان اصلی زیرساختی اقتصاد ایران، با چالش‌های متعددی مواجه است که برخی از آن‌ها به مشکلاتی مزمن تبدیل شده‌اند.(مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۷). اما طی دو دهه اخیر اقداماتی در راستای تجدید ساختار صنعت برق نظیر مجزاسازی تولید، مجزاسازی نسبی انتقال و توزیع، راه‌اندازی بازار عمده فروشی و ایجاد بورس انرژی صورت گرفته است.(عظیم‌زاده ارانی و احمدی، ۱۴۰۳) شکل ۱ که نشان دهنده شدت کربن تولید برق در کشورهای منتخب خاورمیانه می‌باشد، شاخصی کلیدی برای سنجش پایداری سیستم انرژی محسوب می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد به ازای یک کیلووات ساعت برق تولید شده چند گرم کربن دی اکسید وارد جو شده است. مطابق با نمودار شدت کربن بالا در ایران و بسیاری از کشورهای منطقه نشان‌دهنده آن است که تولید برق این منطقه به‌شدت متکی بر سوخت‌های فسیلی است. می‌دانیم هرچه این شاخص بزرگ‌تر باشد، اثرات منفی زیست‌محیطی تولید برق بیشتر خواهد بود. در ایران با وجود سهم بالای گاز طبیعی در ترکیب سوخت نیروگاه‌ها، همچنان شدت کربن نسبت به استانداردهای جهانی بالاست که این موضوع ضعف در کارایی نیروگاه‌ها و کمبود فناوری‌های نوین کنترل آلایندگی را آشکار می‌کند.

شکل۱: شدت کربن تولید برق کشورهای منتخب خاورمیانه(gCO2/kWh)



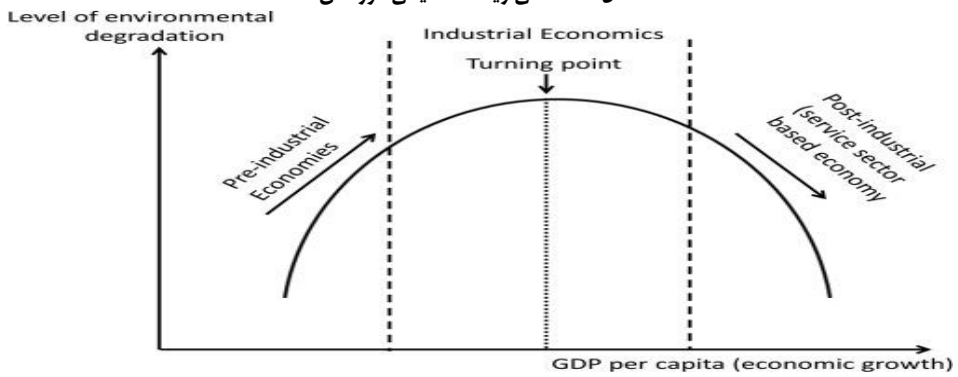
در سال ۲۰۲۴، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از تولید برق در دنیا تنها یک درصد افزایش پیدا کرد. این رشد نسبت به افزایش ۱,۴ درصدی سال ۲۰۲۳ کمتر بوده و بیشتر به دلیل افزایش تولید برق با سوخت‌های فسیلی بوده که همزمان با افزایش ۴,۳ درصدی تقاضای برق در جهان اتفاق افتاده است.(IEA, 2025) آنچه که روشن است این است که افزایش سطح دی‌اکسیدکربن در اتمسفر باعث ایجاد یک بحران زیست محیطی بزرگ از جمله تخریب محیط‌زیست، ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و گرم شدن کره زمین شده است. (خلیلی و

همکاران،۱۴۰۴) بنابراین در شرایطی که پیچیدگی و عدم قطعیت‌های پیش روی سیاست گذاران بالاست و اثرات زیست محیطی رو به فزونی است. تصمیم گیری سیاستگذاران نیازمند هوشمندی و کنش فعال نسبت به آینده و محیط بوده است.(رحمتی و همکاران، ۱۴۰۱) ازاین‌رو، در شرایطی که پیچیدگی‌های محیطی و عدم‌قطعیت‌های پیش‌روی نظام انرژی رو به افزایش است و شدت پیامدهای زیست‌محیطی نیز فزاینده شده، سیاست‌گذاران ناگزیرند به‌جای رویکردهای سنتی و واکنشی، به شیوه‌های هوشمندانه، آینده‌نگر و مبتنی بر تحلیل سناریو روی آورند تا بتوانند به‌صورت پویا با چالش‌های پیش‌رو مواجه شوند. همانطور که اشاره شد بخش تأمین انرژی(برق، گرمایش و سایر اشکال انرژی) بزرگ‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان است و حدود ٪۳۵ از کل این انتشارها را شامل می‌شود. دستیابی به بی‌طرفی کربنی تا حد زیادی به گسترش برق‌رسانی در هرچه بیشترِ بخش‌های مختلف وابسته است، به شرطی که این برق عمدتاً از منابع تجدیدپذیر و بدون کربن تولید شود.(Zhu et al, 2024) در چنین شرایطی و با وجود پیشرفت‌های جهانی در راستای توسعه انرژی‌های پاک و ایجاد بازارهای کربن، ایران همچنان با چالش‌های متعددی در این مسیر مواجه است. نبود زیرساخت‌های لازم برای پایش و قیمت‌گذاری انتشار، اتکای بالا به سوخت‌های فسیلی یارانه‌ای، ضعف در نظام تنظیم‌گری و عدم مشارکت فعال در مکانیسم‌های جهانی کاهش کربن، از مهم‌ترین موانع گسترش بازار کربن در کشور به‌شمار می‌آید. همچنین، سهم پایین انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد تولید برق و نبود انگیزه اقتصادی کافی برای تولیدکنندگان در استفاده از فناوری‌های کم‌کربن، باعث شده است که صنعت برق ایران از مسیر جهانی گذار انرژی فاصله داشته باشد.(انجمن انرژی‌های تجدید پذیر،۱۳۹۹) بنابراین این مطالعه با توجه به نکات مطرح شده و مساله مورد بررسی پژوهش حاضر به دنبال بررسی عوامل موثر بر شدت انتشار کربن در صنعت برق می‌باشد. از این رو در ادامه برای روشن شدن چارچوب بحث در قسمت ۲ به مبانی نظری موجود در این حوزه پرداخته و سپس در قسمت ۳ مطالعات صورت گرفته در این حوزه را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد و در ادامه در قسمت ۴ با استفاده از روش‌های اقتصاد سنجی و سیستم‌های پویا سعی در تعیین وضعیت منحنی زیست محیطی کوزنتس در صنعت برق دارد و در نهایت، نتیجه گیری و توصیه‌های سیاستی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۲-مبانی نظری

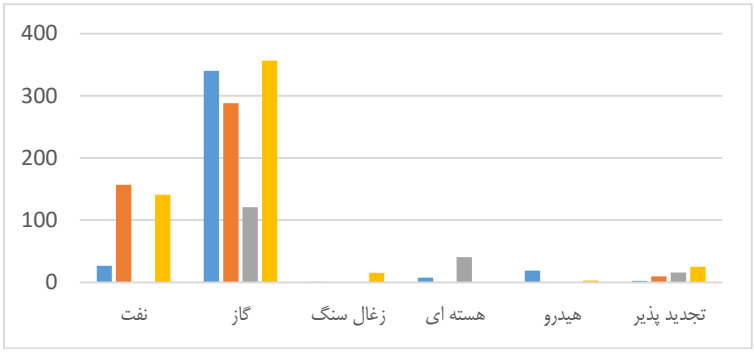
در مسیر رسیدن به توسعه پایدار، کشورها باید با موانعی مانند گسترش جهانی بیماری، افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن و تغییرات آب و هوایی مبارزه کنند تا افزایش درآمد حال و منافع نسل‌های آینده به خطر نیاندازد.(خورسند وکیل زاده و جدید زاده، ۱۴۰۳) در این میان توجه به پیامدهای زیست محیطی فعالیت‌های تولیدی، صنعتی و عمرانی نه یک انتخاب لوکس بلکه یک ضرورت حیاتی است.(اعظمی و همکاران، ۱۴۰۳) در واقع افزایش تقاضای انرژی از یک‌سو، و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی(رمضانیان باجیگیران و همکاران، ۱۳۹۹) و استفاده بی‌رویه از منابع ارزان انرژی در جهان باعث افزایش انتشار گاز CO_2 و شکل‌گیری بحران‌های زیست‌محیطی مختلف شده است.(خلیلی و همکاران، ۱۴۰۴) در صد سال گذشته، میانگین دمای زمین حدود ۱,۲ درجه سانتیگراد (۲,۲ درجه فارنهایت) افزایش یافته است(Qamruzzaman et al., 2025). که علت اصلی آن انتشار گازهای گلخانه‌ای است.(اسداللهی و همکاران، ۱۴۰۱) منحنی کوزنتس که نشان دهنده رابطه میان رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست می‌باشد بیش از چهار دهه است که مورد بحث قرار گرفته است.(خلیلی و همکاران، ۱۴۰۴) این فرضیه یک رابطه U شکل معکوس بین رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست را مطرح می‌کند.(Guliyev & Seyfullayev, 2025) این فرضیه نشان می‌دهد که با رشد اقتصاد یک کشور، تأثیر زیست محیطی آن تا رسیدن به سطح درآمدی خاص افزایش می‌یابد و پس از آن تخریب محیط زیست شروع به کاهش می‌کند. (Han & Lin, 2025) و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک‌تر و مقررات زیست‌محیطی قوی‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد.(Guliyev & Seyfullayev, 2025) یکی از نخستین توضیحات برای وجود منحنی زیست محیطی کوزنتس توسط (Panayotou, 1993) ارائه شد. او استدلال کرد که بدون تغییر در ساختار اقتصادی یا فناوری، رشد اقتصادی منجر به افزایش متناسب آلودگی و دیگر پیامدهای زیست‌محیطی خواهد شد؛ پدیده‌ای که به عنوان «اثر مقیاس» شناخته می‌شود. این دیدگاه سنتی بیان می‌کند که توسعه اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست اهدافی متعارض هستند. با این حال، طرفداران فرضیه زیست محیطی کوزنتس معتقدند که در سطوح بالاتر توسعه، تغییرات ساختاری به سمت صنایع و خدمات دانش‌محور، همراه با افزایش آگاهی زیست‌محیطی، اجرای مقررات زیست‌محیطی، پیشرفت‌های فناورانه و افزایش هزینه‌های زیست‌محیطی، منجر به تثبیت و کاهش تدریجی تخریب زیست محیطی می‌شود.(Schneiter & Mellon-Bedi, 2025) .

شکل ۲ : منحنی زیست محیطی کوزنتس



یکی از منابع اصلی آلودگی بدلیل اتکا به نیروگاه‌های حرارتی صنعت برق می‌باشد. این نیروگاه‌ها حجم بالایی از گازهای آلاینده مانند دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروژن و اکسید گوگرد را به جو وارد می‌کنند.(حیدری و همکاران، ۱۳۹۴؛ زارعی و همکاران، ۱۳۹۹). کالای برق از عمده اقلام انرژی مورد مصرف مردم است که در ایران همواره با قیمتی پایین‌تر از قیمت تمام شده توسط دولت در اختیار خانوارها قرار می‌گیرد و با قیمت واقعی آن فاصله زیادی دارد.(دریکوند و عسگری، ۱۳۹۹) به گونه‌ای که بر اساس آمار موجود در سایر کشورها میانگین هزینه ۱ کیلووات ساعت برق برای مصرف‌کننده نهایی(مصرف داخلی) در اوگاندا ۰,۱۷۰ دلار آمریکا است که همچنان بالا است و پس از تانزانیا(۰,۰۹۱ دلار آمریکا) در شرق آفریقا، در رتبه دوم قرار دارد و با کشورهای همسایه مانند سودان (۰,۰۰۶ دلار آمریکا)، اتیوپی (۰,۰۰۶ دلار آمریکا)، جمهوری دموکراتیک کنگو (۰,۰۶۱ دلار آمریکا) بسیار فاصله دارد. کنیا بالاترین هزینه (۰,۱۷۷ دلار آمریکا) و پس از آن رواندا (۰,۰۴ دلار آمریکا) در شرق آفریقا را دارد.(Mugarura & Muyiwa, 2024) این تفاوت در قیمت برق نه تنها بازتابی از سیاست‌های یارانه‌ای دولت‌ها است، بلکه بر الگوهای مصرف و ساختار تقاضای برق در کشورهای مختلف نیز تأثیر می‌گذارد. که به موجب آن امروزه از اصلی‌ترین مسائل و چالش‌های صنعت برق در ایران، رشد بالای مصرف برق، فرسودگی تاسیسات و تجهیزات، کمبود سرمایه‌گذاری و بدهی‌های انباشته وزارت نیرو در کشور هستند که غالبا ریشه در نظام قیمت گذاری ناکارآمد کنونی دارند.(اسمعیلی و همکاران، ۱۴۰۳) و چالش‌های فراوان در زمینه تامین منابع مالی برای توسعه ظرفیت نیروگاهی را به وجود آورده‌اند.(مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۴۰۲) آنچه که از مطالعات و متون علمی منتشر شده مشاهده می‌شود، کربن انتشار یافته در صنعت برق می‌تواند به موضوعی جدی درایران و به خصوص منطقه‌ی خاورمیانه تبدیل شود.(مرکز پژوهش‌های اتاق ایران، ۱۴۰۳) اما در این میان اثربخشی دولت از طریق طراحی و اجرای سیاست‌های قیمت‌گذاری صحیح انرژی، کاهش یارانه‌های غیرهدفمند، حمایت از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، نظارت بر استانداردهای زیست‌محیطی و اصلاح ساختار نهادی صنعت برق، می‌تواند شدت انتشار کربن را به طور معناداری تحت تأثیر قرار دهد. در واقع مطابق ادبیات موجود می‌توان این گونه گفت که وضعیت دولت مانند وضعیت هواست. نمی‌توان از آن فرار نمود. دولت در مفهوم کلی، یک نهاد قانونی خط مشی‌گذاری عمومی است و بصورت‌های مختلف مانند قوانین، ضابطه‌ها و مقررات به تعیین سیاستگذاری می‌پردازد. (ملکی عباس، ۱۳۹۳) در کنار این دیدگاه، کارایی و اثربخشی دولت را می‌توان از مهم‌ترین عوامل موفقیت سیاست‌گذاری‌های عمومی دانست که نقش تعیین‌کننده‌ای در حوزه زیست‌محیطی و به‌ویژه در کنترل انتشار کربن ایفا می‌کنند. هرچه دولت در تخصیص منابع، اجرای سیاست‌ها و نظارت بر عملکرد بخش‌های اقتصادی کاراتر باشد، توانایی بیشتری برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست خواهد داشت.(OECD,2025) از سویی می‌دانیم کارایی بدون شفافیت امکان‌پذیر نیست؛ زیرا در غیاب شفافیت اطلاعاتی و پاسخ‌گویی نهادی، تخصیص منابع بهینه انجام نمی‌شود و سیاست‌های زیست‌محیطی به‌درستی اجرا یا ارزیابی نمی‌گردند و از سوی دیگر، اثربخشی دولت در تدوین و اجرای سیاست‌های محیط‌زیستی، در گرو اعتماد عمومی و دسترسی آزاد به داده‌های واقعی انتشار است تا امکان نظارت و اصلاح مستمر فراهم شود در این چارچوب، حتی شکل‌گیری بازار کربن به‌عنوان یکی از ابزارهای نوین سیاست‌گذاری محیط‌زیستی می‌تواند مؤثر و پایدار باشد. در واقع دولت شفاف و پاسخ‌گو می‌تواند با طراحی سازوکارهای عادلانه در قیمت‌گذاری کربن و تخصیص سهمیه‌ها، انگیزه واقعی برای کاهش انتشار را در میان بنگاه‌ها ایجاد کند وعدم قطعیت موجود در بازار کربن را بهبود بخشد(Luan et al, 2025) در مجموع این گونه به نظر می‌رسد که دولت‌ها می‌توانند به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر کیفیت محیط زیست تأثیر بگذارند. و مستقیماً بر کاهش شدت آلودگی محیط زیست تأثیر بگذارند.(Yuan et al, 2025) و عوامل سیاستی مانند تجارت انتشار کربن، تخصیص سهمیه انتشار و چارچوب‌ها و سازوکارهای عملیاتی از عناصر کلیدی و کانال‌های ارتباطی جهت کاهش انتشار کربن محسوب شوند. (Zhang et al, 2023) در این چارچوب کارایی دولت می‌تواند از طریق افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به کاهش شدت انتشار کمک کند. از یک‌سو، دولت‌های کارآمد توانایی مدیریت بهتر سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر و تخصیص بهینه منابع مالی را دارند که توسعه این بخش را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، آن‌ها می‌توانند سیاست‌های حمایتی همچون سهمیه‌بندی انرژی‌های تجدیدپذیر را سریع‌تر و مؤثرتر تدوین و اجرا نمایند.(Ding et al, 2023) افزون بر این، کیفیت حکمرانی به طور فزاینده‌ای به عنوان عاملی محوری در شکل‌دهی به

پیامدهای زیست‌محیطی شناخته می‌شود. (Tran & Tran, 2025) حتی سطوح مختلف دموکراسی اهمیت یکسانی برای حفاظت از محیط زیست قائل نیستند.(Ding et al, 2023) در تکمیل این بحث، تعامل میان شدت انرژی و کیفیت نهادی نشان می‌دهد که محیط حکمرانی نقشی تعیین‌کننده در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی دارد. به لحاظ نظری، نهادهای قوی می‌توانند ناکارآمدی در سیستم‌های انرژی را کاهش دهند، استانداردهای زیست‌محیطی را اجرا کنند و سرمایه‌گذاری‌ها را به سمت فناوری‌های پاک‌تر سوق دهند.(Abdelkawy & Alzuwaidi, 2025) در مقابل حضور نهادهای ضعیف‌تر، کسب‌وکارها ممکن است مستعد شیوه‌های فاسد و رشوه‌خواری شوند که به شرکت‌های آلاینده اجازه می‌دهد مقررات زیست محیطی سهل‌گیرانه‌تر و اجرای ضعیف‌تری داشته باشند و ممکن است سیگنال‌های مطلوبی برای آلوده کردن محیط زیست دریافت کنند(Rafiq et al., 2025) بنابراین کنترل فساد به طور قابل توجهی پتانسیل آن را دارد که آلودگی هوا را کاهش دهد. (Almulhim et al, 2025) و از طرفی نیز منجر به کارایی و بهبود در اثر بخشی دولت شود. بنابر مطالب عنوان شده، مطالعه حاضر به بررسی رابطه میان اثربخشی دولت و شدت انتشار کربن در صنعت برق پرداخته و سعی در تبیین موضوع مورد بررسی و شناخت دقیق وضعیت موجود دارد. و از آنجا که صنعت برق ایران به دلیل وابستگی عمده به سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه گاز طبیعی و نفت، یکی از منابع مهم انتشار CO_2 در کشور محسوب می‌شود(به شکل ۳ توجه کنید) این مسئله بیش از پیش اهمیت می‌یابد. بنابراین در ادامه با توجه به اهمیت موضوع به بررسی مطالعات پیشین پرداخته و سپس به مدل تجربی خواهیم پرداخت.



شکل۳:الکتریسیته تولید شده به تفکیک سوخت ایران۱۴۰۴

منبع: energyinst.org

۳-پیشینه پژوهش

در این قسمت به بررسی مطالعات داخلی و خارجی انجام شده در حوزه‌ی مورد بررسی پژوهش پرداخته شده‌است که می‌تواند روشن کننده‌ی مسیر پژوهش فعلی باشد.

۳-۱- مطالعات داخلی

(خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰) در مطالعه‌ای در می‌یابند که رفتار مصرفی خانوارها به گونه‌ای است که با افزایش درآمد، در ابتدا آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد و سپس با جایگزینی کالاهای تمیز به جای کالاهای آلاینده، میزان آلودگی کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، این روند تأییدی بر وجود منحنی زیست‌محیطی کوزنتس است. در این مدل، محیط زیست به عنوان محصول جانبی فعالیت‌های خانوار در نظر گرفته شده و خانوارها سبدی مصرفی متشکل از کالاهای تمیز و کثیف دارند. با تغییر ترکیب این سبد، خانوارها می‌توانند سطح آلودگی محیط را کنترل کنند. همچنین در این مطالعه از طریق یک تابع مطلوبیت کاب–داگلاس و اعمال شرایط مرتبه اول کان–تاکر، نقاط تعادلی سبد مصرفی خانوار مشخص می‌شود، به‌طوری که با افزایش درآمد، مصرف کالاهای آلاینده کاهش و مصرف کالاهای پاک افزایش می‌یابد و در نتیجه محیط زیست بهبود می‌یابد. (احمدیان و همکاران، ۱۳۹۸) نتایج این مقاله نشان می‌دهد که منحنی پویای محیط زیست کوزنتس در خارج از شرایط پایدار و بهینه قرار دارد. و در مسیر رشد و توسعه‌ی اقتصادی، تخصیص سرمایه برای اقداماتی که منجر به جلوگیری از انتشار آلودگی در طی زمان می‌شود افزایش یافته و در نقطه‌ی 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 نموده و منحنی کوزنتس به طور پویا در شرایط خارج از شرایط پایدار و بهینه برآورد و استخراج می‌گردد. این پژوهش پیشنهاد می‌کند که بخشی از سرمایه موجود باید برای جلوگیری و کاهش فعالیت‌های مخرب محیط زیست تخصیص یابد. (سیفی پور،۱۴۰۰) این مقاله به ارزیابی عوامل موثر بر انتشار آلاینده CO_2 با تاکید بر بخش صنعت برای سال‌های ۹۴-۱۳۶۰ با استفاده از روش های ARDL و FMOLS می‌پردازد. یافته‌ها و نتایج این مقاله حاکی از تایید فرضیه زیست محیطی کوزنتس در بخش صنعت ایران است. به عبارتی با افزایش ارزش افزوده، میزان آلاینده افزایش می‌یابد اما نرخ آن کاهنده است. همچنین با افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و جهانی شدن از منظر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی، میزان انتشار آلاینده افزایش

می‌یابد. همچنین یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد حساسیت انتشار آلاینده CO_2 نسبت به مصرف سوخت‌های فسیلی و شاخص جهانی شدن در بلندمدت نسبت به کوتاه مدت بیشتر است. (فراهتی و سلیمی،۱۴۰۱) در مطالعه‌ای باهدف آزمون تجربی فرضیه منحنی کوزنتس مالی با استفاده داده‌های مربوط به دوره زمانی ۱۳۶۱-۱۳۹۷ در اقتصاد ایران است. نتایج حاصل از رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی نشان می‌دهند که در بلندمدت، یک رابطه U معکوس میان رشد اقتصادی و نابرابری درآمد وجود دارد که فرضیه منحنی کوزنتس را تأیید می‌نماید. با ارتقای سطح توسعه مالی، نقطه بازگشت منحنی کوزنتس در سطح پایین‌تری از رشد اقتصادی قرار می‌گیرد. این یافته‌ها شواهدی دال بر تأیید فرضیه کوزنتس مالی بلندمدت برای ایران ارائه می‌دهند. براین اساس، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران اقتصادی به موازات سیاست‌های رشدی، سطح توسعه مالی را با هدف توزیع عادلانه‌تر درآمد ارتقاء دهند. (اعظمی و همکاران، ۱۴۰۳) این مطالعه بررسی رابطه رشد و انتشار دی اکسید کربن با تاکید بر نقش مصرف انرژی تجدیدپذیر و فسیلی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته است. به این منظور ۲۶ کشور توسعه یافته و ۴۱ کشور در حال توسعه در فاصله زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۰ در نظر گرفته شده است. نتایج آزمون هم انباشتگی وسترلاند(با وجود وابستگی مقطعی میان کشورها) در کشورهای توسعه یافته و آزمون هم انباشتگی کائو (بدون وابستگی مقطعی میان کشورها) در کشورهای در حال توسعه حاکی از وجود ارتباط بلندمدت میان متغیرهای الگو در هر دو گروه کشورها است. برآوردگرهای FGLSو PCSE نشان می‌دهند در هر دو گروه کشورها، مصرف انرژی تجدید پذیر تاثیر مثبت و معنی دار بر کیفیت محیط زیست دارد و قدر مطلق این تاثیر در کشورهای توسعه یافته بیش از کشورهای در حال توسعه است، در حالی که این نتیجه برای انرژی های فسیلی برعکس است. رابطه N شکل رشد- آلودگی در هر دو گروه کشورها تایید می‌شود. بنابراین، نمی‌توان انتظار داشت که در بلندمدت با افزایش تولید، انتشار آلودگی کاهش یابد. (اعظمی و محجوبی،۱۴۰۳) این مطالعه به بررسی تأثیر شاخص‌های حکمرانی خوب بر انتشار دی‌اکسید کربن کشورهای منتخب آسیایی است که سهم بالایی در انتشار دی‌اکسید کربن جهانی دارند. مطابق با مدل پانل آستانه‌ای، رابطه CO_2 تولید وابسته به شاخص‌های حکمرانی خوب در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد با بهبود شاخص‌های حکمرانی خوب و فراتر رفتن از حد آستانه‌ای، ضرایب متغیرهای تولید در رابطه CO_2 تولید به گونه‌ای تغییر می‌کند که در ازای یک واحد تولید میزان کربن کمتری منتشر می‌شود. همچنین، در سطوح بالاتر تولید بهبود شاخص‌های حکمرانی منجر به کاهش بیشتر انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. به عبارتی در سطوح بالاتر شاخص ثبات سیاسی می‌توان شاهد تأثیر گذاری مثبت آن بر کیفیت محیط‌زیست بود. وجود منحنی زیست محیطی کوزنتس Nشکل برای این گروه از کشورها نگران کننده و بیانگر آن است که تولید در بلندمدت حل کننده مسایل زیست محیطی نیست. آلودگی با رشد اقتصادی بطور خودکار از بین نمی‌رود و حکمرانی خوب می‌تواند راه حلی برای توسعه پایدار باشد. (باقری، ۱۴۰۳) به بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و انتشار آلودگی در ایران با استفاده از روش مارکوف سوییچینگ، حداقل مربعات معمولی کاملاً تعدیل شده و حداقل مربعات معمولی پویا و روش یوهانسن، برای دوره زمانی ۲۰۲۱-۱۹۹۴ میلادی می‌پردازد. مطابق نتایج این پژوهش با روش سری زمانی پویا، منحنی کوزنتس تأیید شد که این نتیجه بدان معنی است که رشد اقتصادی در ابتدا منجر به آلودگی می‌شود ولی در ادامه سبب کاهش آلودگی می‌شود. مصرف انرژی بر انتشار گاز کربنیک اثر مثبت و معنی‌داری داشته است. مطابق نتایج پژوهش، تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر مثبت و معناداری بر انتشار گاز کربنیک دارد. آزادسازی تجارت بر مصرف انرژی، از اثر آن بر محیط زیست تأثیر می‌پذیرد. مطابق نتایج، تجارت اثر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربنیک دارد. آزمونLR نشان داد که مدل غیرخطی است و از روش مارکف سوییچینگ برای برآورد مدل بهره گرفته شد. مطابق نتایج پژوهش، با استفاده از روش مارکف سوییچینگ-MS ARMA(3,1,0)رابطه مثبت و معنی‌داری تجارت، تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی با یک وقفه بر مصرف انرژی وجود دارد. (کشاورز و همکاران، ۱۴۰۳) در پژوهش حاضر، علاوه بر انتشار دی‌اکسیدکربن، از روش ارزیابی ردپای بوم‌شناختی و کسری بوم شناختی نیز به‌عنوان متغیرهای نشان‌دهنده کیفیت محیط زیست استفاده شده است در مطالعه مذکور با استفاده از روش گروهی پردازش داده‌هاGMDH، نتایج مطالعه مذکور نشان داد که متغیرهای مصرف انرژی، ارزش‌افزوده بخش کشاورزی، تولید ناخالص داخلی و آزادی تجارت عوامل تعیین‌کننده کیفیت محیط زیست به‌شمار می‌روند. بر اساس این نتایج، فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای هر سه مدل در بلندمدت تأیید می‌شود ضریب متغیر آزادی تجارت نیز نشان داد که یک درصد افزایش در میزان تجارت منجر به ۰/۱۱ تا ۰/۲۴ درصد بهبود در شاخص‌های منتخب کیفیت محیط زیست می‌شود. در خصوص انرژی نیز ضرایب به‌دست‌آمده نشان داد که با یک درصد افزایش مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسید-کربن ۰/۲۸، ردپای بوم‌شناختی ۰/۷۵ و کسری بوم شناختی ۰/۷۲ درصد افزایش می‌یابد. (صادقی و رشید عج عج، ۱۴۰۳) در پژوهش خود به بررسی اثرات نامتقارن درآمد سرانه، قیمت نفت، ارزش افزوده بخش صنعت و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر انتشار CO_2 در ایران پرداخته و از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیع‌شده غیرخطی(NARDL) برای دوره زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۴۰۲ استفاده می‌کنند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تنها درآمد سرانه رابطه‌ای خطی با انتشارCO_2 دارد، در حالی که سایر متغیرها اثرات غیرخطی بر انتشار دارند. همچنین مشخص شد که قیمت نفت اوپک تنها در مواجهه با شوک‌های مثبت با انتشار آلودگی رابطه معکوس دارد و برای سرمایه‌گذاری خارجی تنها شوک‌های منفی اثر مثبت بر انتشار آلودگی ایجاد می‌کنند. در نهایت، یافته‌ها نشان می‌دهد که منحنیU شکل کوزنتس در شرایط ایران برقرار نیست و افزایش درآمد لزوماً با کاهش انتشار آلودگی همراه نمی‌شود. (خلیلی و همکاران،۱۴۰۴) در پژوهشی ابتدا نکاتی

را در مورد آلودگی و مصرف انرژی متذکر شده و سپس به توسعه پایدار ومنحنی کوزنتس می‌پردازد، مدل تجربی در این مطالعه شامل دو قسمت بوده که ابتدا با انجام آزمون مانایی مدل ARDL به عنوان روش انتخابی مورد تخمین قرار می‌گیرد و سپس در قسمت دوم و با استفاده از سیستم‌های پویا اقدام به اجرا مدل طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۴۲۵ کرده که نتایج حاصل، بیانگر آن است که ایران در مرحله‌ی اول منحنی کوزنتس قرارداشته و۵۹ درصد تغییرات تقاضای انرژی به دلیل تغییرات در تولید ناخالص داخلی می‌باشد. بدین منظور توصیه سیاستی‌ای که در مطالعه فوق مورد توجه قرار گرفته است آموزش و آگاهی عمومی از مخاطرات استفاده از سوخت‌های فسیلی و سرمایه گذاری در سیستم‌های تجدید پذیر می‌باشد که از جهتی موجب رشد اقتصادی می‌شود و از سویی دیگر نیز موجب گذار از مرحله‌ی اول منحنی زیست محیطی کوزنتس خواهد شد. (ملکی و فراهتی، ۱۴۰۴) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر نابرابری درآمد بر رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیطزیست در استان‌های ایران پرداخته‌اند. در این تحقیق، سرانه تولید ناخالص داخلی واقعی به‌عنوان شاخص رشد اقتصادی، سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان شاخص آلودگی محیطزیست و ضریب جینی به‌عنوان شاخص نابرابری درآمد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تحلیل‌های حاصل از مدل پانل نشان می‌دهد که در بلندمدت، افزایش درآمد سرانه در ابتدا موجب افزایش انتشار CO_2 می‌شود، اما پس از رسیدن به سطح مشخصی از درآمد، این روند معکوس شده و انتشار کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج مطالعه، توصیه می‌شود که سیاستگذاران اقتصادی همزمان با اجرای برنامه‌های رشد اقتصادی، اقداماتی برای کاهش نابرابری درآمد نیز در نظر بگیرند تا کیفیت محیطزیست بهبود یابد. (صیادی و همکاران، ۱۴۰۴) در پژوهش خود با هدف بررسی ارتباط بین یارانه انرژی و ردپای اکولوژیکی در بین کشورهای منتخب با بیشترین سهم یارانه انرژی از تولید ناخالص داخلی به بررسی منحنی کوزنتس با استفاده از مدل GMM می‌پردازد. یافته‌های تحقیق، وجود یک منحنی کوزنتس N شکل بین یارانه انرژی سرانه و ردپای اکولوژیکی را تأیید می‌کند. مطابق با نتایج در سطوح اولیه متغیر یارانه انرژی، ردپای اکولوژیکی افزایش یافته، در سطوح میانی متغیر یارانه انرژی، اثر این متغیر بر ردپای اکولوژیکی منفی و سطوح بالای متغیر یارانه انرژی، اثر مثبت بین یارانه انرژی و ردپای اکولوژیکی ظاهر می‌شود. بنابراین مطالعات متعدد داخلی نشان می‌دهند که رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست غالباً مطابق با فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس است. پژوهش‌ها حاکی از آن است که در مراحل اولیه رشد اقتصادی، افزایش درآمد و ارزش افزوده موجب افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌شود، اما با بهبود توسعه مالی، افزایش بهره‌وری دولت و جایگزینی کالاهای پاک در سبد مصرفی خانوارها، روند انتشار آلاینده‌ها کاهش می‌یابد (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰؛ احمدیان و همکاران، ۱۳۹۸؛ سیفی‌پور، ۱۴۰۰). علاوه بر این، نقش مصرف انرژی فسیلی و تجدیدپذیر، نابرابری درآمد، جهانی شدن، و حکمرانی خوب در تعیین شدت و نحوه انتشار آلاینده‌ها مورد تأکید قرار گرفته است (فراهتی و سلیمی، ۱۴۰۱؛ اعظمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ اعظمی و محجوبی، ۱۴۰۳). بررسی داده‌های ایران و سایر کشورها نیز نشان می‌دهد که سیاست‌های بهینه در زمینه ارتقای کارایی دولت، اصلاح ساختار نهادی، کنترل یارانه‌های انرژی و توسعه منابع تجدیدپذیر، می‌تواند همزمان موجب رشد اقتصادی و کاهش شدت انتشار کربن شود (باقری، ۱۴۰۳؛ خلیلی و همکاران، ۱۴۰۴؛ ملکی و فراهتی، ۱۴۰۴؛ صیادی و همکاران، ۱۴۰۴). این شواهد جمعی تأکید دارند که توسعه پایدار بدون توجه به حکمرانی، مصرف انرژی و ترکیب سبد مصرفی امکان‌پذیر نیست و سیاست‌های محیطزیستی باید همزمان با رشد اقتصادی طراحی و اجرا شوند.

۲-۳- مطالعات خارجی

(Shahbaz et al, 2013) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه پویا بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار CO_2 می‌پردازند. در انجام این کار، نتایج رابطه بلندمدت بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلاینده‌های انرژی تایید می‌شود همچنین شواهد نشان می‌دهد که منحنی زیست محیطی کوزنتس هم در دوره‌های بلند و هم کوتاه مدت در رومانی یافت می‌شود. نتایج همچنین وجود رابطه بلندمدت بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلاینده‌های انرژی را مورد تایید قرار می‌دهد. 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. (Suki et al., 2020) در پژوهشی به بررسی وجود منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در مالزی می‌پردازد و تأثیر جهانی‌شدن بر ردپای اکولوژیکی در اقتصاد مالزی را با استفاده از داده‌های فصلی طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸ تحلیل می‌کند. این پژوهش از روش(QARDL) استفاده کرده است. نتایج QARDL نشان داد که ضریب اصلاح خطا در تمام کوانتیل‌ها معنادار و با علامت منفی مورد انتظار است. این یافته حاکی از وجود بازگشت قابل توجه به تعادل بلندمدت بین عوامل مورد بررسی و تخریب محیطزیست است. به طور کلی، نتایج نشان دادند که جهانی‌شدن کلی و جهانی‌شدن اقتصادی سطح تخریب محیطزیست را در بلندمدت افزایش می‌دهند، در حالی که جهانی‌شدن سیاسی و اجتماعی به کاهش سطح تخریب محیطزیست در بلندمدت کمک می‌کنند. علاوه بر این، نتایج QARDL وجود منحنی U وارونه را در اقتصاد مالزی تأیید کرد. در کوتاه‌مدت، این مطالعه اثر منفی معناداری از جهانی‌شدن کلی و جهانی‌شدن سیاسی بر تخریب محیطزیست مشاهده کرد. بر اساس این نتایج، دولت و سیاست‌گذاران مالزی نیاز دارند تا توجه بیشتری به جهانی‌شدن اجتماعی و سیاسی داشته باشند تا اهداف محیطزیستی پایدار در تعادل بلندمدت محقق شود. (Sarkodie & Ozturk,

2020) در پژوهشی به اعتبار فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس و شاخص‌های بهره‌وری انرژی و مصرف انرژی را در کنیا مورد بررسی قرار داده است. این مطالعه از تکنیک ARDL طی دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۳ استفاده کرده است. نتایج نشان داد که هم مدل ARDL و هم برآورد Utest وجود منحنی U وارونه را تأیید کردند و بنابراین فرضیه EKC در کنیا معتبر است. مطالعه نشان داد که افزایش مصرف انرژی در بلندمدت انتشار دی‌اکسیدکربن را تشدید می‌کند. همچنین، اصلاح مبتنی بر روش حداقل مربعات جزئی نشان داد که برق تولیدشده از منابع انرژی تجدیدپذیر نقش مهمی در کاهش انتشار CO_2 دارد. افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه و هزینه‌های مصرف خانوار باعث افزایش مصرف انرژی می‌شوند. همچنین این مطالعه تأکید می‌کند که استفاده از فناوری‌های پایدار مانند جذب و ذخیره‌سازی کربن در بهره‌برداری از نفت و زغال‌سنگ برای کاهش آلودگی ضروری است. مهاجرت روستایی–شهری بار مصرف برق را افزایش می‌دهد و در صورت عدم اجرای گزینه‌های صرفه‌جویی، بهره‌وری انرژی کاهش می‌یابد. (Wang et al., 2022) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر شهرنشینی بر پیوند میان رشد اقتصادی و کیفیت محیطزیست است. این مطالعه با افزودن یک شاخص اجتماعی، نظریه سنتی EKC را گسترش می‌دهد، شاخصی که با سه جنبه مورد نیاز برای توسعه پایدار در سال ۲۰۳۰ (اجتماعی، اقتصادی و محیطزیستی) مطابقت دارد. بر اساس داده‌های پانل ۱۳۴ کشور طی دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵، از مدل رگرسیون آستانه‌ای برای بررسی علیت غیرخطی بین متغیرها استفاده شده است. متغیر آستانه‌ای شهرنشینی است و مکانیزم تأثیر رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن و ردپای اکولوژیکی مورد آزمون قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که شهرنشینی همبستگی مثبت بین اقتصاد و انتشار کربن و ردپای اکولوژیکی را تقویت می‌کند. اثر مثبت رشد اقتصادی بر ردپای اکولوژیکی بیشتر از اثر آن بر انتشار کربن است. باز بودن تجاری و بهره‌برداری از منابع طبیعی فشار محیطزیستی را افزایش می‌دهد. پیری جمعیت و انرژی‌های تجدیدپذیر کیفیت محیطزیست را بهبود می‌بخشند. ناهمگنی در مقادیر و روند تغییر ضرایب رگرسیون در گروه‌های درآمدی مختلف مشاهده می‌شود. برخلاف روند ضرایب در کل کشورها با عبور شهرنشینی از آستانه‌ها، اثر مثبت رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای با درآمد بالا کاهش می‌یابد. (Voumik et al., 2022) در مطالعه‌ای با تمرکز بر شبه جزیره‌ی عرب با نگاهی همه جانبه به ارتباطات بین گردشگری، تولید ناخالص داخلی، انرژی‌های تجدیدپذیر سوخت‌های فسیلی، آموزش و تجارت و انتشار دی‌اکسیدکربن پرداخته و فرضیه منحنی کوزنتس را بررسی می‌کند طبق تحقیق انجام شده طی دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۹ فرضیه زیست محیطی کوزنتس در محبوب‌ترین مقاصد مسافرتی خاورمیانه وجود ندارد. نتایج این مطالعه بیان می‌کند که گردشگری می‌تواند به کاهش آسیب‌های زیست محیطی کمک کند و شاخص‌هایی مانند افزایش جمعیت، افزایش مصرف انرژی و اقتصادهای پر رونق همگی بر افزایش سطح تخریب محیط زیست تأثیر می‌گذارند. و تنها عاملی که به کاهش انتشار CO_2 کمک می‌کند گردشگری و انرژی‌های تجدیدپذیر است. (Bilgili et al., 2023) در پژوهش خود به بررسی رابطه محیطزیست و جنسیت از طریق فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در ۳۶ کشور آسیایی طی بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ با استفاده از تخمین‌های داده‌های پانل می پردازند. نتایج حاصل از روش FMOLS پانل نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر مثبت بر انتشار CO_2 دارد و مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر منفی بر CO_2 دارد، که در نتیجه فرضیه EKC برای داده‌های پانل آسیایی با ۹۷۱ مشاهده تأیید می‌شود. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهند که مشارکت نیروی کار مردان و زنان اثر متفاوتی بر محیطزیست دارد، به ویژه در بخش کشاورزی. افزون بر این، افزایش نسبت تحصیل (شاخص تساوی جنسیتی) تأثیر منفی بر تخریب محیطزیست دارد. (Caporin et al, 2023) این مطالعه از چارچوب حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح شده طی دوره ۱۹۹۵–۲۰۱۸ برای کشورهای اسیای مرکزی 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 اولEKC هستند. همچنین در این مطالعه مشاهده شد که تولید ناخالص، ردپای زیست‌محیطی، مصرف انرژی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی بر انتشار دی‌اکسید کربن در بلندمدت تأثیر مثبت دارد. علاوه بر این، علیت دو طرفه از تولید ناخالص داخلی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی با انتشار CO_2 وجود دارد، در حالی که علیت بین انتشار و مصرف انرژی یک طرفه است. (Muratoğlu et al., 2024) در مطالعه خود به بررسی اعتبار فرضیه EKC در چهار بخش مجزا شامل کشاورزی، صنعت، تولید و خدمات می‌پردازد. همچنین، مطالعه مذکور با بررسی اثر مصرف انرژی بر انتشار CO_2 به صورت نامتقارن و با استفاده از روش پنل غیرخطی ARDL (PNARDL) به این مهم می‌پردازد، در این تحقیق از داده‌های سالانه ۳۸ کشور OECD در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرضیه EKC برای تمامی بخش‌ها به جز بخش صنعتی و برای اقتصاد کل اعتبار دارد. نقطه بازگشت منحنی کوزنتس برای کل اقتصاد معادل۲۹۲۵۰ دلار تولید ناخالص داخلی سرانه برآورد شده است. نتایج تجربی همچنین نشان می‌دهد که مصرف انرژی در کوتاه‌مدت و بلندمدت اثرات نامتقارن بر انتشار CO_2 دارد؛ شوک‌های مثبت و منفی در مصرف انرژی در بلندمدت انتشار CO_2 را در اقتصادهای OECD افزایش می‌دهند. مشخص شده است که کشاورزی بخش اصلی ایجادکننده تخریب محیطزیست از طریق افزایش انتشار CO_2 است. (Wang et al., 2024) در مطالعه خود به بررسی منحنی کوزنتس ۲۱۴ کشور پرداخته‌اند. نتایج جهانی پژوهش مذکور نشان دهنده وجود منحنی کوزنتس به شکل N است. همچنین مطابق با نتایج ریسک ژئوپلیتیکی، ICT و امنیت غذایی اثر مثبت بر انتشار کربن سرانه دارند، در حالی که اثر ریسک ترکیبی، کیفیت نهادها، اقتصاد دیجیتال، گذار انرژی و پیری جمعیت منفی و معنادار است. همچنین لازم به

ذکر است اثر هوش مصنوعی، درآمدهای منابع طبیعی، باز بودن تجارت و نابرابری درآمدی معنادار نبوده است. نقاط عطف منحنی EKC به شکل N به ترتیب ۴۵/۰۸ و ۷۳/۴۴ هزار دلار آمریکا برآورد شده است. (Gupta et al., 2025) این پژوهش یک مطالعه در سطح بخش‌ها ارائه می‌دهد که به بررسی پیوند رشد–انرژی–آلودگی در چارچوب منحنی کوزنتس زیست‌محیطی (EKC) می‌پردازد. در این تحقیق، سهم ترکیبی انتشار دی‌اکسیدکربن از بخش‌های مختلف اقتصادی برای گروهی از ۴۳ کشور نوظهور و در حال توسعه بررسی می‌شود. از آنجا که مصرف انرژی و سهم در تولید ناخالص داخلی در میان بخش‌ها به طور چشمگیری متفاوت است، انتظار می‌رود هر بخش واکنش متفاوتی نسبت به آلودگی ناشی از عوامل کلان اقتصادی نشان دهد. برای جداسازی اثر مصرف انرژی از تغییرات درون‌بخشی فعالیت‌های اقتصادی، از رویکرد تجزیه شاخص‌ها استفاده شده است. اهمیت این روش در آن است که امکان ارزیابی بهبود بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف را فراهم می‌سازد. برای تحلیل تجربی، از برآوردگرهای سیستم GMM با بهره‌گیری از داده‌های پانل طی دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. نتایج اقتصادسنجی نشان‌دهنده ناهمگنی قابل توجه در واکنش‌های کاهش انتشار CO_2 میان بخش‌ها است. به طور خاص، فرضیه EKC برای شاخص‌های مرتبط با انرژی تنها در بخش تولید صنعتی و برای تولید ناخالص داخلی در بخش‌های بازرگانی و عمومی تأیید می‌شود. (Coşkun et al, 2025) با عنوان کردن این موضوع که افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی جهانی، ضرورت درک رابطه میان نوآوری فناوری، رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست را به‌ویژه در اقتصادهای به‌سرعت صنعتی‌شونده تشدید کرده است. به بررسی این روابط در کشور ترکیه با توجه به چارچوب فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس می‌پردازد. با استفاده از داده‌های سالانه دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹، از روش‌های اقتصادسنجی استفاده شده است یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه نوآوری فناوری در حال حاضر موجب افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود، اما بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست یک رابطه U وارونه وجود دارد که فرضیه EKC را برای ترکیه تأیید می‌کند. نتایج آزمون علیت نشان‌دهنده روابط یک‌سویه از تخریب محیط‌زیست به سوی هر دو متغیر نوآوری فناوری و رشد اقتصادی است. این نتایج بیانگر آن است که ترکیه نیازمند مداخلات سیاستی راهبردی با تمرکز بر فناوری‌های سبز و نوآوری پایدار است تا در عین حفظ رشد اقتصادی، به سمت پایداری زیست‌محیطی حرکت کند. (Peng et al., 2025) در مطالعه‌ای به بررسی فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در بخش حمل‌ونقل چین می‌پردازد. این مطالعه از مدل ARDL و رویکرد آزمون کران‌ها طی سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۲۱ می‌پردازد. نتایج تحلیل‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت نیز فرضیهEKC را پشتیبانی کرده و نشان می‌دهند که بین رشد اقتصادی و انتشار کربن حمل‌ونقل سرانه یک رابطه U وارونه برقرار است. ضریب تصحیح خطا نیز نشان می‌دهد که حدود ۴۱ درصد از عدم‌تعادل کوتاه‌مدت در یک سال اصلاح می‌شود که تأییدی دیگر بر رابطه بلندمدت متغیرها است. آزمون‌های تشخیصی و تحلیل پایداری نیز اعتبار نتایج مدل را تضمین می‌کنند. این مطالعه آشکار می‌سازد که اثرات تقاضای حمل‌ونقل، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و پیشرفت فناوری بر انتشار کربن در مراحل مختلف توسعه اقتصادی متفاوت است. این یافته‌ها بیانگر آن است که اقتصادهای در حال توسعه باید رویکردی پویا در برنامه‌ریزی زیرساخت‌های حمل‌ونقل اتخاذ کنند و از مراحل اولیه، توسعه راه‌آهن را مدنظر قرار دهند تا از قفل‌شدگی انتشار کربن جلوگیری شود. برای دستیابی به توسعه پایدار، سیاست‌گذاران باید اولویت‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها را با مراحل توسعه اقتصادی هماهنگ کرده و هم‌زمان هماهنگی بین‌منطقه‌ای در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را ارتقا دهند. (Polat & Çil, 2025) با عنوان کردن این موضوع که تعیین رابطه بین توسعه اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست یک مسئله حیاتی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار است. به بررسی فرضیه زیست محیطی کوزنتس۳۹ کشور طی دوره ۱۹۹۳–۲۰۱۸ می‌پردازند. برای این منظور، شاخص توسعه انسانی(HDI) به‌عنوان معیار توسعه استفاده شده است، بر خلاف مطالعات کلاسیک که رشد تولید ناخالص داخلی به‌عنوان شاخص رشد اقتصادی در نظر گرفته می‌شد. همچنین، با استفاده از دو معیار مختلف انتشار آلاینده‌ها، شامل متان(CH_4) و دی‌اکسیدکربن(CO_2)، اعتبار فرضیهEKC مورد بررسی قرار گرفته است. روش تحلیل شامل مدل اثرات ثابت و آزمون U نیز استفاده شده است. یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که شواهد قوی برای حمایت از رابطه U وارونه بین انتشار CO_2 و توسعه انسانی وجود دارد. علاوه بر این، رابطه منفی بین نوآوری‌های فناوری مرتبط با محیط‌زیست و انتشار آلاینده‌ها مانندCH_4 وCO_2 مشاهده شده است که بر اهمیت ترویج فناوری‌های نوآورانه در مقابله با گرمایش جهانی تأکید می‌کند. به طور کلی، مطالعات بررسی شده در کشورهای مختلف و بخش‌های گوناگون اقتصادی نشان می‌دهد که رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و کیفیت محیط زیست معمولاً به شکل منحنی کوزنتس زیست‌محیطی (U وارونه) برقرار است؛ به این معنا که با افزایش رشد اقتصادی و تولید ناخالص داخلی، ابتدا فشار بر محیط زیست افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به یک نقطه بازگشت، انتشار آلاینده‌ها کاهش می‌یابد. عوامل مؤثر شامل نوع انرژی مصرفی (فسیلی یا تجدیدپذیر)، جهانی‌شدن، شهرنشینی، نوآوری‌های فناورانه، زیرساخت‌های حمل‌ونقل و سیاست‌های مالی و محیط‌زیستی هستند. همچنین، شواهد نشان می‌دهد که اثرات بلندمدت بر کیفیت محیط زیست معمولاً معنادارتر از کوتاه‌مدت بوده و بخش‌های مختلف اقتصادی واکنش‌های متفاوتی نسبت به انتشار آلاینده‌ها دارند. یافته‌ها تأکید دارند که ترویج انرژی‌های سبز، بهینه‌سازی مصرف انرژی، توسعه فناوری‌های نوآورانه و هماهنگی سیاست‌های اقتصادی و محیط‌زیستی، می‌تواند نقطه بازگشت منحنی EKC را به سطح پایین‌تر منتقل کرده و رشد اقتصادی را با حفاظت از محیط زیست همزمان سازد. این نتایج اهمیت طراحی سیاست‌های توسعه پایدار، مدیریت بهینه انرژی و ارتقای آگاهی عمومی را برجسته می‌کنند.

۴-مدل تجربی و یافته‌های تحقیق

این مطالعه بر اساس داده‌های موجود و با استفاده از تکنیک‌های اقتصادسنجی انجام گرفته است. در مرحله اول با انجام آزمون‌های مانایی مشخص شد که متغیرهای پژوهش ترکیبی از I(0) و I(1) هستند. بر این اساس، روش ARDL به‌عنوان رویکرد مناسب برای برآورد مدل انتخاب شد، زیرا این روش هم در شرایط وجود متغیرهای با درجات مانایی متفاوت (تا مرتبه یک) قابل استفاده است و هم امکان برآورد روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان متغیرها را فراهم می‌کند(Safdar, 2014). همچنین نتایج برآورد مدل در جدول ۱ ارائه شده است. مدل تجربی مورد بررسی مطالعه حاضر برگرفته از مطالعات (Wu et al, 2020) و (Akan et al,2022) می‌باشد، در این مطالعه، شدت انتشار کربن بخش برق (LCO2E) به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است، زیرا بخش برق یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار ناشی از سوخت‌های فسیلی در جهان است(IEA, 2024) و از آنجایی که متغیرهای جمعیت و تجارت خارجی شامل صادرات و واردات نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت انرژی و حجم انتشار دارند و موجب افزایش تقاضای انرژی شده و معمولاً انتشار را تشدید می‌کنند(Poumanyvong & Kaneko, 2010) وارد چارچوب بررسی حاضر شده‌اند؛ همچنین، صادرات و واردات بسته به ساختار اقتصادی کشورها می‌توانند انتشار را افزایش دهند یا از طریق انتقال فناوری‌های کارآمد، موجب کاهش آن شوند(Sadorsky, 2012 ؛ Shahbaz et al., 2010) علاوه بر این، ضریب جینی به‌عنوان شاخص نابرابری درآمد وارد مدل شده است؛ پژوهش‌ها نشان می‌دهد که نابرابری می‌تواند سطح انتشار را از طریق افزایش مصرف گروه‌های پردرآمد و کاهش کارایی سیاست‌های محیط‌زیستی در جوامع نابرابر افزایش دهد. (Wu et al., 2020) تولید ناخالص داخلی و مجذور آن (GDP و GDP^2) نیز در مدل گنجانده شده‌اند تا فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس آزمون شود؛ طبق این فرضیه، رشد اقتصادی در مراحل اولیه همراه با افزایش انتشار است، اما در سطوح بالاتر درآمد، به دلیل توسعه فناوری و سیاست‌های محیط‌زیستی، انتشار کاهش می‌یابد.(Grossman & Krueger, 1995) در کنار متغیرهای اقتصادی، اثربخشی دولت نیز به‌عنوان یک شاخص نهادی مهم در مدل قرار گرفته است. این شاخص بیانگر توان دولت در طراحی و اجرای سیاست‌های اثربخش، از جمله سیاست‌های زیست‌محیطی، بوده و مطالعات نشان داده‌اند کشورهایی با حکمرانی کارآمدتر عملکرد بهتری در مدیریت انتشار و به‌کارگیری انرژی پاک دارند.(Akan et al., 2022) ترکیب این متغیرها چارچوبی جامع برای تحلیل عوامل اقتصادی، اجتماعی و نهادی مؤثر بر انتشار کربن بخش برق ارائه می‌دهد.

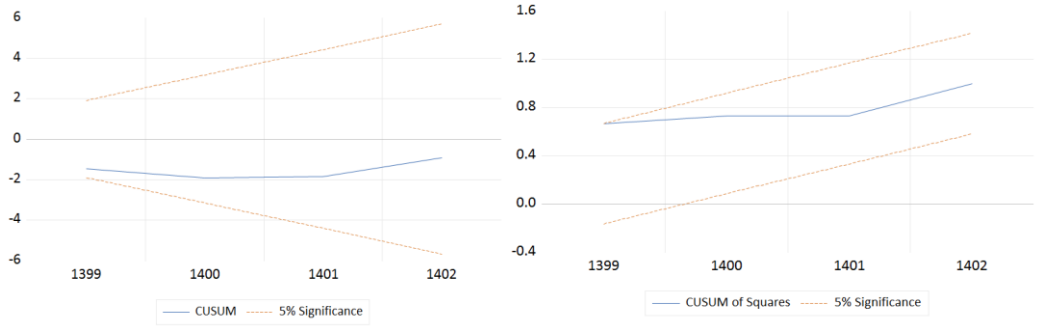
1) $LCO2e_{it}=LGDP_{it}+LGDP2_{it}+ LGOVERNMENT_{it}+ LPOPULATION_{it}+ LIMPORT_{it}+ LEXPORT_{it}+ LGINI_{it}+Ut_{it}$

جدول۱: خروجی حاصل از تخمین مدل

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره-t	احتمال
LCO2E(-1)	-۰/۵۱۵۸۶۴	۰/۰۸۷۴۷۲	-۵/۸۹۷۵۰۰	۰/۰۰۴۱
LCO2E(-2)	۰/۸۸۳۳۷۹	۰/۲۳۰۹۱۴	۳/۸۲۵۵۸۱	۰/۰۱۸۷
LGDP	-۱۹۱/۶۴۹۷	۳۷/۵۵۲۵۷	-۵/۱۰۳۵۰۴	۰/۰۰۷۰
LGDP(-1)	۱۳۷/۴۲۴۱	۴۹/۲۱۰۱۹	۲/۷۹۲۵۹۴	۰/۰۴۹۲
LGDP(-2)	۵۶/۱۶۳۶۰	۱۷/۴۹۰۰۲	۳/۲۱۱۱۸۱	۰/۰۳۲۶
LGDP2	۳/۵۷۸۳۸۴	۰/۶۹۹۸۷۱	۵/۱۱۲۹۲۰	۰/۰۰۶۹
LGDP2(-1)	-۲/۵۵۶۵۵۲	۰/۹۱۸۹۹۵	-۲/۷۸۱۹۰۰	۰/۰۴۹۷
LGDP2(-2)	-۱/۰۴۹۷۶۸	۰/۳۲۷۳۴۹	-۳/۲۰۶۸۷۶	۰/۰۳۲۷
LGOVERNMENT	۰/۰۵۸۳۶۸	۰/۰۱۲۶۲۶	۴/۶۲۲۹۳۱	۰/۰۰۹۹
LGOVERNMENT(-1)	-۰/۰۴۲۸۱۴	۰/۰۱۲۴۰۴	-۳/۴۵۱۴۸۲	۰/۰۲۶۰
LGOVERNMENT(-2)	-۰/۰۵۱۳۶۰	۰/۰۰۹۵۹۰	-۵/۳۵۵۴۵۳	۰/۰۰۵۹
LPOPULATION	-۸/۱۹۲۹۴۸	۱/۳۵۲۲۲۰	-۶/۰۵۸۸۸۶	۰/۰۰۳۷
LPOPULATION(-1)	۳/۹۸۳۸۷۸	۲/۳۱۴۷۷۹	۱/۷۲۱۰۶۲	۰/۱۶۰۴
LPOPULATION(-2)	۲/۹۱۸۴۲۴	۱/۰۹۰۴۹۴	۲/۶۷۶۲۴۲	۰/۰۵۵۴
LIMPORT	-۰/۱۰۰۹۱۳	۰/۰۲۷۸۶۵	-۳/۶۲۱۴۷۵	۰/۰۲۲۳
LIMPORT(-1)	-۰/۰۶۸۷۵۸	۰/۰۱۴۶۸۱	-۴/۶۸۳۳۷۱	۰/۰۰۹۴
LEXPORT	۰/۰۵۱۸۹۲	۰/۰۲۰۲۱۳	۲/۵۶۷۲۰۵	۰/۰۶۲۲
LGINI	۱/۲۴۰۲۰۲	۰/۲۳۸۳۶۲	۵/۲۰۳۰۰۸	۰/۰۰۶۵

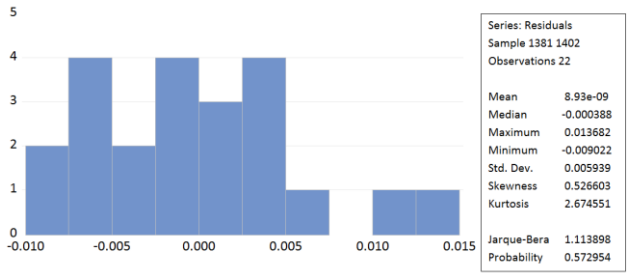
ضریب تعیین	۰/۹۲۶۲۹۴			
آزمون خودهمبستگی Breusch-Godfrey	F-statistic	۲۶/۲۸۵۴۸	Prob. F(3,1)	۰/۱۴۲۲
آزمون ناهمسانی واریانس Breusch-Pagan-Godfrey	F-statistic	۰/۴۳۸۸۴۲	Prob. F(16,5)	۰/۹۰۴۰
متغیر	ضریب	انحراف معیار	t-آماره	احتمال
CointEq(-1)*	-۰/۶۳۲۴۸۷	۰/۰۶۲۱۶۴	-۱۰/۱۷۴۴۱	۰/۰۰۰۵
خروجی حاصل از تخمین روابط بلند مدت				
متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره-t	احتمال
LGDP	۳/۰۶۴۱۰۴	۰/۹۲۶۷۰۴	۳/۳۰۶۴۵۴	۰/۰۲۹۸
LGDP2	-۰/۰۴۴۱۷۰	۰/۰۰۵۳۲۴	-۸/۲۹۵۹۶۷	۰/۰۰۱۲
LGOVERNMENT	-۰/۰۵۶۶۱۱	۰/۰۲۹۰۴۹	-۱/۹۴۸۸۰۳	۰/۱۲۳۱
LPOPULATION	-۲/۰۴۰۵۹۶	۰/۷۷۴۵۰۳	-۲/۶۳۴۷۱۸	۰/۰۵۷۹
LIMPORT	-۰/۲۶۸۲۶۱	۰/۱۳۳۸۱۶	-۲/۰۰۴۶۹۷	۰/۱۱۵۵
آزمون باندها				
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
F-statistic	۷/۶۶۸۰۴۳		Asymptotic: n=1000	
		%۱۰	۱/۸۱	۲/۹۳
		% ۵	۲/۱۴	۳/۳۴
		% ۲/۵	۲/۴۴	۳/۷۱
k	۵	%۱	۲/۸۲	۴/۲۱
منبع: یافته‌های محقق				

نتایج مربوط به برآورد مدل طی دوره ۱۳۷۹ الی ۱۴۰۲ نشان می‌دهد که متغیر تولید ناخالص داخلی LGDP و مجذور آن $LGDP^2$ اثر معناداری بر شدت انتشار کربن در بخش برق دارند. ضریب مثبت LGDP و ضریب منفی $LGDP^2$ در بلندمدت نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ای به شکل منحنی کوزنتس زیست‌محیطی است؛ به این معنا که در مراحل اولیه رشد اقتصادی، افزایش تولید ناخالص داخلی منجر به افزایش آلودگی می‌شود، اما پس از عبور از یک سطح آستانه‌ای از درآمد، این اثر معکوس شده و رشد اقتصادی با کاهش انتشار کربن همراه است. این یافته با مبانی نظری EKC همخوانی دارد و بیانگر اهمیت ارتقای فناوری و بهبود بهره‌وری در مراحل بالاتر توسعه است. متغیر اثر بخشی دولت به عنوان متغیر کلیدی در مدل کوتاه‌مدت و بلندمدت ضرایب منفی و معنادار دارد که نشان می‌دهد بهبود کیفیت حکمرانی و سیاست‌گذاری‌های کارآمد می‌تواند به کاهش انتشار کربن در بخش برق منجر شود. همچنین، جمعیت در کوتاه‌مدت اثر مثبت بر آلودگی دارد اما در بلندمدت معناداری خود را از دست می‌دهد. این امر نشان می‌دهد که رشد جمعیت در ابتدا فشار بیشتری بر مصرف انرژی و در نتیجه آلودگی وارد می‌کند، اما در بلندمدت این اثر تعدیل می‌شود. در حوزه تجارت، واردات اثر منفی و معنادار بر انتشار کربن دارد که می‌تواند بیانگر واردات کالاهای پاک‌تر یا انتقال فناوری باشد، در حالی‌که صادرات اثر مثبت نشان داده که احتمالاً ناشی از افزایش تولید و مصرف انرژی در داخل برای تأمین تقاضای خارجی است. و در نهایت متغیر ضریب جینی نیز اثر مثبت و معناداری بر انتشار کربن دارد؛ به این معنا که افزایش نابرابری درآمدی می‌تواند منجر به تشدید آلودگی محیطزیست شود. این نتیجه نشان می‌دهد که توزیع عادلانه‌تر درآمد علاوه بر آثار اجتماعی و اقتصادی، می‌تواند به بهبود شرایط زیست‌محیطی نیز کمک کند.



شکل۴: نتایج حاصل از آزمون پایداری

منبع: یافته‌های محقق

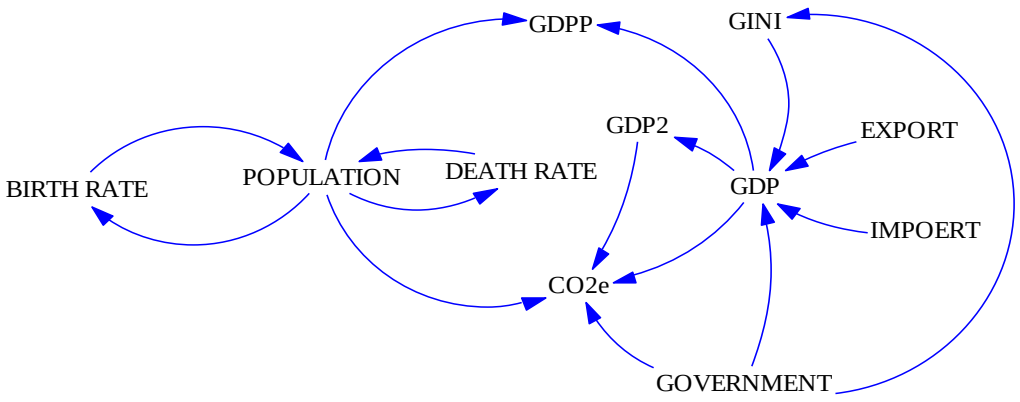


شکل۵: نتایج حاصل از آزمون نرمالیتی
منبع: یافته‌های محقق

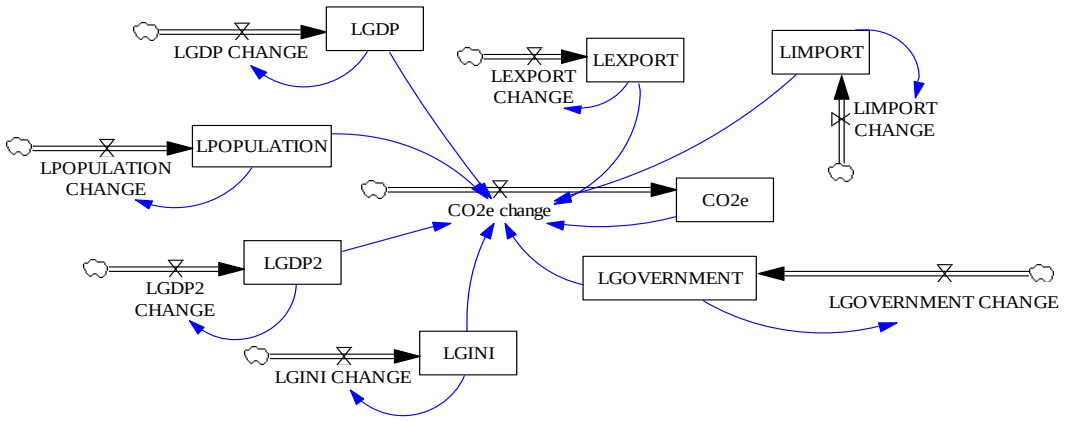
آزمون‌های پایداری و نرمالیتی مدل نیز بیانگر اعتبار و صحت برآوردهای انجام شده هستند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیبی از رشد اقتصادی پایدار، بهبود کیفیت حکمرانی، توسعه تجارت پاک و کاهش نابرابری می‌تواند به کاهش شدت انتشار کربن در بخش برق کمک کند.

۱-۴- تحلیلی پویا از تاثیر اثر بخشی دولت بر شدت کربن صنعت برق

در این قسمت از مطالعه برای تحلیل داده‌ها از تکنیک پویایی سیستم استفاده شده است که بر این اساس می‌توان گفت نوآوری این پژوهش در تحلیلی پویا از تاثیر اثر بخشی دولت بر شدت انتشار کربن صنعت برق می‌باشد؛ پویایی سیستم رویکردی برای درک رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده در طول زمان با استفاده از حلقه بازخورد می‌باشد. این روش در سال ۱۹۶۱ توسط جی فارستر در کتاب پویایی صنعتی معرفی گردید و به سرعت گسترش یافت. این روش دو تفاوت اساسی با روش‌های آماری در حل مسائل دارد. نخست آنکه برخلاف روش‌های آماری قصد محدود کردن متغیرها را ندارد و کوشش می‌شود تا تمامی عناصر دخیل در رفتار پدیده در یک مرز بسته مورد تحلیل قرار گیرند. همچنین تمامی روابط اثر گذار در نظر گرفته شده و بر حلقه های بازخور تاکید می‌شود. پویایی‌های یک سیستم براساس نمودار علت و معلولی پیاده سازی می‌شود. براساس نمودار علی و معلولی تمامی متغیرها و روابط یک سویه و دوسویه آنها طراحی می‌شود. همچنین متغیرهای نهایی با استفاده از حلقه بازخورد به متغیرهای آغازین متصل می‌شود. ویژگی‌های روش پویایی سیستم سبب شده است تا با سایر روش‌های شبیه سازی متفاوت باشد و کاربردهای ویژه‌ای برای آن پدید آورد که برخی از مهمترین آن‌ها عبارتند از بررسی نتایج همزمان با تغییر پارامترها، تمرکز و توجه بر ساختارو رفتار سیستم و پتانسیل یادگیری بالایی را در روش پویایی سیستم داراست.(Hasret, 2007) بنابرنکات مطرح شده و با توجه به رگرسیون ۱ و مرز موجود در سیستم حاضر روابط علی- معلولی و حلقه‌های مربوطه در شکل ۶ رسم گردیده است. همچنین به جهت درک بهتر و ورود معادلات مربوطه به ساختار مدل مطابق با شکل ۶ و رگرسیون مورد بررسی نمودار حالت- جریان مطالعه حاضر در شکل ۷ رسم گردیده است و مدل طی دوره زمانی ۱۳۷۹ الی ۱۴۵۰ اجرا شد که نتایج حاصل از شبیه سازی مدل در ادامه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.



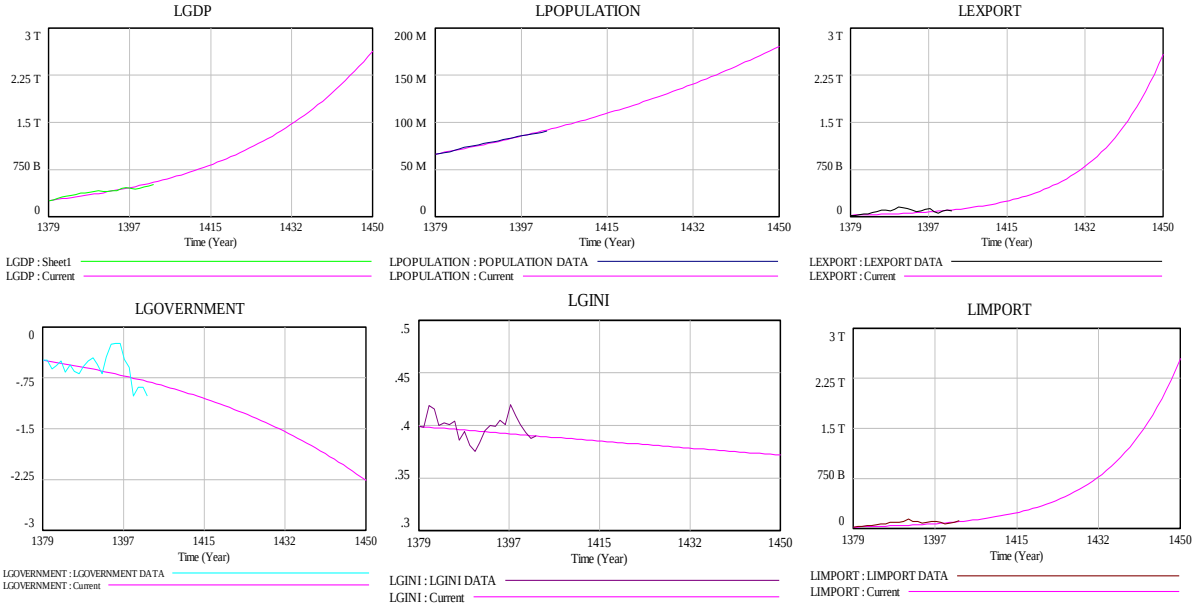
شکل۶: نمودار حلقوی علت و معلولی
منبع: یافته‌های محقق



شکل۷: نمودار حالت-جریان
منبع: یافته‌های محقق

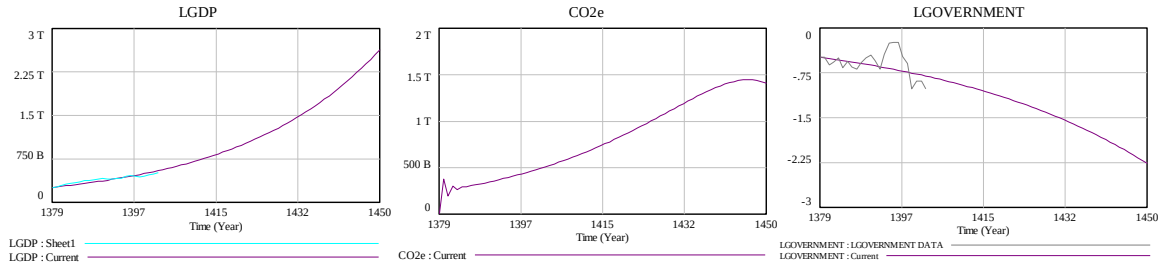
۲-۴- آزمون تولید مجدد رفتار

برای اعتبار سنجی مدل حاضر از روش متداول اعتبار سنجی مقایسه‌ی یافته‌های مدل سازی انجام شده با داده‌های تاریخی در دسترس(تولید مجدد رفتار) استفاده شده است.(خلیلی و همکاران،۱۴۰۴) که نتایج حاصل از انجام آزمون صحت نتایج مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل۸: نتایج حاصل از آزمون تولید مجدد رفتار
منبع: یافته‌های محقق

با توجه به صحت نتایج به‌دست‌آمده از مدل، در ادامه برای بررسی پایداری یافته‌ها و تحلیل دقیق‌تر آثار متغیرهای کلیدی، سه سناریوی مختلف طراحی و شبیه‌سازی می‌شود. نخست، سناریوی بهبود کارآمدی دولت به میزان ۱٫۵ درصد که نشان‌دهنده نقش سیاست‌های نهادی در کاهش شدت انتشار کربن است. دوم، سناریوی رشد اقتصادی ۲ درصدی که اثر افزایش تولید و فعالیت‌های اقتصادی بر روند انتشار را مورد توجه قرار می‌دهد. در نهایت، سناریوی ترکیبی رشد اقتصادی و بهبود کارآمدی دولت به طور همزمان بررسی می‌شود تا تصویر جامع‌تری از تعامل میان توسعه اقتصادی و کیفیت حکمرانی در چارچوب منحنی کوزنتس محیط‌زیستی ارائه گردد. همان‌طور که واضح است، سه سناریوی طراحی‌شده حول سه متغیر کلیدی اثربخشی دولت، رشد اقتصادی و شدت انتشار کربن در صنعت برق قرار دارند که در شکل ۹ نتایج حاصل از حالت پایه مجدد رائه شده است می‌باشد. لازم به ذکر است هدف از این سناریوها آن است که نشان داده شود چگونه تغییر در کیفیت حکمرانی و سطح فعالیت‌های اقتصادی می‌تواند بر مسیر انتشار کربن اثرگذار باشد و در نهایت، الگوی پویای شکل‌گیری منحنی کوزنتس در صنعت برق را روشن‌تر سازد.

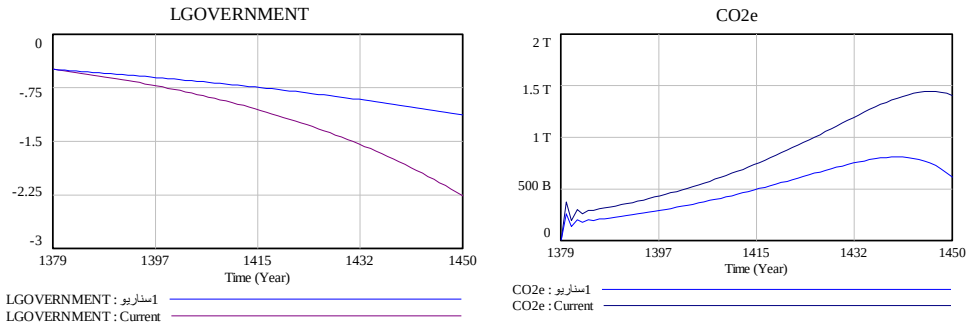


شکل۹: نتایج حاصل از حالت پایه متغیرهای کلیدی

منبع: یافته‌های محقق

۳-۴- سناریو اول: بهبود کارآمدی دولت ۱,۵ درصد

بر اساس برآورد مدل، اثر منفی و معناداری بر شدت انتشار کربن بخش برق وجود دارد. این نتیجه از آن جهت اهمیت دارد که نشان می‌دهد حتی تغییرات کوچک در بهبود کیفیت حکمرانی می‌تواند پیامدهای زیست محیطی ملموسی داشته باشد. در کوتاه‌مدت، افزایش کارآمدی دولت از طریق بهبود فرآیندهای نظارتی، اجرای سخت‌گیرانه‌تر استانداردهای زیست‌محیطی و جلوگیری از اتلاف انرژی در نیروگاه‌ها، منجر به کاهش نسبی انتشار می‌شود. در بلندمدت نیز دولت کارآمد می‌تواند مسیر توسعه بخش انرژی را به سمت سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و ارتقای بهره‌وری سوق دهد. به بیان دیگر، اثر بخشی دولت نقش تعدیل‌کننده‌ای دارد که می‌تواند وابستگی رشد اقتصادی به مصرف بالای انرژی‌های آلاینده را کاهش داده و شرایط تحقق رشد پایدار را فراهم کند. همان طور که در شکل ۱۰ نیز مشاهده می‌شود اعمال این سناریو موجب انتقال روند پایه به سمت پایین برای متغیر شدت انتشار کربن صنعت برق شده است که نشان دهنده شدت انتشار کمتر و بازدهی بهتر در تولید برق به دلیل بهبود در اثر بخشی دولت می‌باشد.

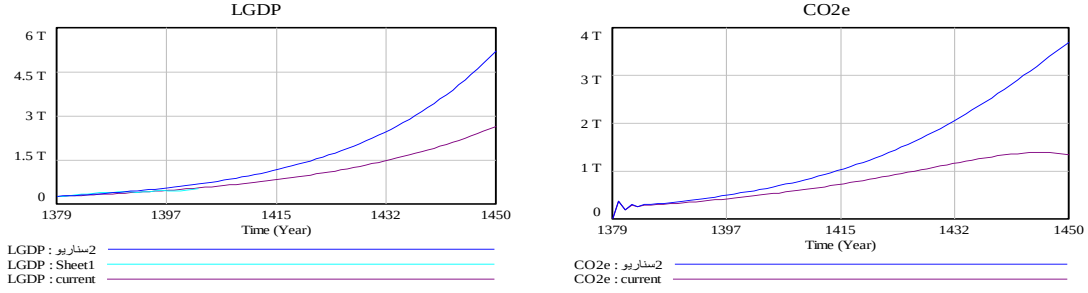


شکل ۱۰ : نتایج حاصل از سناریو اول

منبع : یافته‌های محقق

۴-۴- سناریوی۲: رشد اقتصادی۲ درصد

مطابق با یافته‌های مدل در مرحله‌ی کوتاه‌مدت و در سطوح پایین توسعه، رشد اقتصادی به‌واسطه‌ی افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی، ظرفیت بالاتر تولید برق و گسترش فعالیت‌های صنعتی، به رشد انتشار کربن منجر می‌شود (اثر مقیاس). با این حال، وجود متغیر مجذور GDP در مدل تأییدی بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتس است. این بدین معناست که پس از عبور از یک سطح مشخص درآمدی، رشد اقتصادی به‌جای افزایش انتشار، منجر به کاهش آن خواهد شد. مکانیزم‌های این تغییر شامل تغییر ساختار اقتصادی از صنایع انرژی‌بر به سمت خدمات و فناوری‌های پیشرفته، افزایش آگاهی عمومی از مسائل زیست‌محیطی، و بهبود فناوری‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی است. بنابراین پیامد رشد اقتصادی بستگی به موقعیت کشور روی منحنی کوزنتس دارد: اگر هنوز در بخش صعودی باشد، رشد اقتصادی انتشار را افزایش خواهد داد؛ اما در صورت نزدیک شدن یا عبور از نقطه‌ی عطف، رشد اقتصادی می‌تواند به کاهش انتشار منجر شود.

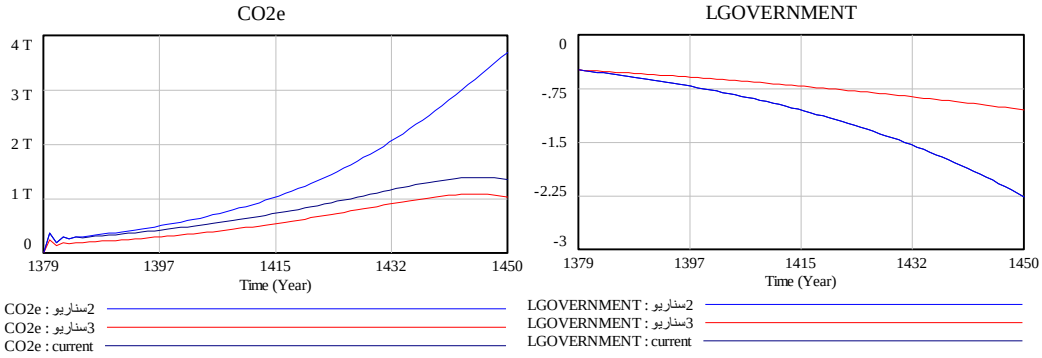


شکل ۱۱ : نتایج حاصل از سناریو دوم

منبع: یافته‌های محقق

۵-۴- سناریوی۳:اعمال همزمان رشد اقتصادی و بهبود کارآمدی دولت

این سناریو ترکیبی از دو عامل کلیدی یعنی رشد اقتصادی و ارتقای کارآمدی دولت است. از یک سو، رشد اقتصادی به تنهایی می‌تواند فشار مضاعفی بر مصرف انرژی و افزایش انتشار کربن وارد کند؛ اما از سوی دیگر، افزایش کارآمدی دولت می‌تواند این اثرات منفی را مهار کرده و حتی در برخی موارد به سمت کاهش انتشار سوق دهد. دولت کارآمد قادر است سیاست‌های مکملی همچون یارانه به انرژی‌های پاک، وضع مالیات بر انتشار آلاینده‌ها، ارتقای استانداردهای زیست‌محیطی و تسهیل ورود فناوری‌های نوین را به‌کار گیرد. در کوتاه‌مدت، چنین ترکیبی از یک سو رشد اقتصادی را حفظ کرده و از سوی دیگر سرعت افزایش انتشار را محدود می‌کند. در بلندمدت نیز انتظار می‌رود اثر هم‌افزایی میان رشد اقتصادی و کارآمدی دولت، گذار به سمت توسعه پایدار را تسریع کند. این وضعیت بهترین حالت ممکن است، چرا که هم منافع اقتصادی محقق می‌شوند و هم پیامدهای زیست‌محیطی رشد کنترل می‌گردند.



شکل۱۲: نتایج حاصل از اعمال سناریو سوم

منبع: یافته‌های محقق

در یک جمع بندی کلی برای سه سناریوی طراحی‌شده می‌توان گفت که که بهبود کارآمدی دولت به‌تنهایی قادر است کاهش انتشار کربن را تضمین کند، در حالی که رشد اقتصادی اثر دوگانه‌ای دارد و می‌تواند بسته به سطح توسعه کشور نتایج متفاوتی به همراه داشته باشد. ترکیب این دو عامل در سناریوی سوم، بهترین و پایدارترین مسیر است که به‌طور همزمان رشد اقتصادی و بهبود کیفیت محیط زیست را تأمین می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

تأمین انرژی الکتریکی از میان انرژی‌های موجود به عنوان یکی از مهم‌ترین نهادهای مورد نیاز کارگاه‌های صنعتی کشور نقش قابل توجه‌ای در رشد و توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور دارد. مطالعات و داده‌های موجود نشان می‌دهد کربن انتشار یافته در این صنعت می‌تواند به موضوعی جدی درایران و به خصوص منطقه‌ی خاورمیانه تبدیل شود. در این میان اثربخشی دولت از طریق طراحی و اجرای سیاست‌های قیمت‌گذاری صحیح انرژی، کاهش یارانه‌های غیرهدفمند، حمایت از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، نظارت بر استانداردهای زیست‌محیطی و اصلاح ساختار نهادی صنعت برق، می‌تواند شدت انتشار کربن را به طور معناداری تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، مطالعه حاضر به توجه به اهمیت موضوع به بررسی رابطه میان اثربخشی دولت و شدت انتشار کربن در صنعت برق پرداخته و سعی در تبیین موضوع مورد بررسی دارد. نتایج و یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد این صنعت در مرحله اول منحنی کوزنتس قرار دارد و از این نظر نتایج و یافته‌های مطالعه حاضر هم جهت با مطالعات (باقری، ۱۴۰۳)، (فراهتی و سلیمی،۱۴۰۱)، (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۴)، (علمی و آریانفر، ۱۴۰۲)، (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۵)، (پنگ و همکاران، ۲۰۲۵)، (جوشکون و همکاران، ۲۰۲۵) می باشد. در این پژوهش برای تحلیل رابطه بین اثربخشی دولت و شدت انتشار کربن در صنعت برق از دو رویکرد مکمل استفاده شد. نخست، مدل ARDL در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۲ برآورد گردید. نتایج این مدل نشان داد که متغیر تولید ناخالص داخلی و مجذور آن بر شدت انتشار کربن اثر معنادار دارند و وجود رابطه‌ی Uمعکوس میان رشد اقتصادی و آلودگی را تأیید می‌کنند. علاوه بر این، اثربخشی دولت در کوتاه‌مدت و بلندمدت اثر منفی و معناداری بر شدت انتشار کربن داشته است که نشان‌دهنده نقش کلیدی سیاست‌گذاری‌های کارآمد در کاهش آلودگی می‌باشد. همچنین، واردات اثری کاهنده و صادرات اثری افزاینده بر انتشار کربن داشته‌اند، در حالی‌که نابرابری درآمدی(ضریب جینی) اثر مثبت و معناداری بر انتشار گذاشته است، در گام دوم، با استفاده از مدلسازی مبتنی بر روش سیستم های پویا در افق زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۴۴۵ نتایج حاصل از اعمال سناریوها در این مدل نشان داد که:

- افزایش ۱،۵ درصدی در کارآمدی دولت به‌طور پایدار موجب کاهش انتشار کربن در صنعت برق می‌شود.
- رشد اقتصادی ۲ درصدی در کوتاه‌مدت انتشار را افزایش می‌دهد (اثر مقیاس)، اما در بلندمدت با تغییر ساختار اقتصادی و ارتقای فناوری، می‌تواند به کاهش انتشار منجر گردد.

- ترکیب رشد اقتصادی و بهبود کارآمدی دولت بهترین سناریو را ایجاد کرده و به طور همزمان تحقق رشد اقتصادی و بهبود شرایط زیست‌محیطی را تضمین می‌کند.

بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، مهم‌ترین توصیه‌های سیاستی عبارت‌اند از:

- ارتقای اثربخشی دولت و اصلاح ساختار نهادی بخش برق باید در اولویت سیاست‌گذاری قرار گیرد؛ زیرا نتایج ARDL و مدلسازی پویایی سیستم‌ها نشان دادند که افزایش حتی جزئی در کارآمدی دولت می‌تواند کاهش پایدار و معناداری در شدت انتشار کربن ایجاد کند. این موضوع بیانگر آن است که دولت باید به‌صورت جدی به تقویت نظارت، اصلاح فرایندهای تصمیم‌گیری مرتبط با انرژی بپردازد.
- دولت لازم است سیاست‌های قیمت‌گذاری صحیح انرژی را دنبال کند. واقعی‌سازی تدریجی قیمت برق همراه با سازوکارهای حمایتی هدفمند برای اقشار کم‌درآمد می‌تواند به اصلاح الگوی مصرف و کاهش اتلاف انرژی در بخش خانگی و صنعتی منجر شود. این نتیجه مستقیماً از یافته‌هایی ناشی می‌شود که نشان دادند بهبود کارآمدی دولت و مهار مصرف می‌تواند به کاهش انتشار کمک کند.
- بر اساس نتایج مثبت و معنادار ضریب جینی بر انتشار، سیاست‌های کاهش نابرابری درآمدی نیز باید در کنار سیاست‌های انرژی دنبال شود. سیاست‌های بازتوزیعی، بهبود دسترسی به آموزش، و حمایت از اشتغال‌زایی در مناطق محروم می‌تواند ضمن کاهش نابرابری، از فشار مصرفی و انرژی‌بر گروه‌های پردرآمد بکاهد و در نهایت منجر به کاهش انتشار شود.
- حمایت از فناوری‌های کم‌کربن در صنعت برق مانند هوشمندسازی شبکه، افزایش راندمان نیروگاه‌ها، توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی نیز می‌تواند نقش اساسی در کاهش انتشار ایفا کند

همچنین این پژوهش با محدودیت‌هایی به شرح زیر روبه رو بوده است:

- محدودیت در دسترسی به داده‌های به روز، که این موضوع می‌تواند دقت مدل‌های مورد بررسی پژوهش حاضر را کاهش دهد.
- عدم تفکیک انواع نیروگاه‌های تولید برق، لازم به ذکر است داده‌های انتشار کربن به‌صورت تجمیعی برای کل صنعت برق لحاظ شده و امکان بررسی جداگانه نیروگاه‌های حرارتی، سیکل ترکیبی یا تجدیدپذیر وجود نداشته است.
- عدم لحاظ برخی متغیرهای ساختاری، عواملی مانند شدت مصرف انرژی صنایع، کیفیت زیرساخت شبکه، یا سیاست‌های یارانه‌ای به‌صورت جداگانه وارد مدل نشده‌اند و ممکن است اثرات تعاملی مهمی داشته باشند.
- عدم بررسی شوک‌های بیرونی، عواملی مانند تحریم‌ها، تغییرات ناگهانی قیمت نفت، کشف ذخایر گازی جدید یا بحران‌های بین‌المللی می‌توانند بر انتشار تأثیر بگذارند اما در مدل لحاظ نشده‌اند.
- بنابراین با توجه به محدودیت‌ها و یافته‌های مطالعه حاضر، توصیه‌های زیر در خصوص پژوهش‌های آینده مطرح می‌شود:
- سناریوهای قیمتی برق: افزایش پلکانی تعرفه‌ها، قیمت‌گذاری کربن، حذف یارانه‌های غیرهدفمند با استفاده از مدل پویایی سیستم یا مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه(CGE).
- استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی انتشار و تحلیل روابط غیرخطی بین متغیرها که می‌تواند دقت بیشتری نسبت به ARDLداشته باشد.
- استفاده از شاخص‌های نهادی بیشتری مانند کنترل فساد و عملکرد نهادها تا اثرات نهادی دقیق‌تر تحلیل شود.
- در پژوهش‌های آینده، استفاده از داده‌های استانی و به‌کارگیری تحلیل اقتصادسنجی فضایی می‌تواند کمک کند تا تأثیر متغیرهای اقتصادی، نهادی و جمعیتی بر شدت انتشار کربن در صنعت برق با لحاظ اثرات مکانی و همسایگی بین استان‌ها بهتر و دقیق‌تر بررسی شود. این روش امکان شناسایی الگوهای منطقه‌ای انتشار، نقاط همبستگی فضایی و انتقال اثرات سیاستی بین استان‌ها را فراهم می‌آورد و می‌تواند به تدوین سیاست‌های منطقه‌ای هدفمند کمک کند.

منابع

- Abdelkawy, N. A., & Alzuwaidi, L. (2025). Institutional Quality, Energy Efficiency, and Natural Gas: Explaining CO 2 Emissions in the GCC, 2000–2023. Sustainability (2071-1050), 17(15).
- Akan, Y., Uzuner, G., & Akalin, G. (2022). Why are some countries cleaner than others? New evidence on macroeconomic governance (MEG). Journal of Environmental Management, 315, 115207.
- Almulhim, A. A., Inuwa, N., Chaouachi, M., & Samour, A. (2025). Testing the impact of renewable energy and institutional quality on Consumption-Based CO2 emissions: Fresh insights from MMQR approach. Sustainability, 17(2), 704.
- Bilgili, F., Khan, M., & Awan, A. (2023). Is there a gender dimension of the environmental Kuznets curve? Evidence from Asian countries. Environment, Development and Sustainability, 25(3), 2387-2418.

- 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
- Coşkun, M. F., Konat, G., & Yilanci, V. (2025). Investigation of the role of technological innovation in reducing carbon dioxide damage in Turkey with Fourier tests: Testing the Kuznets curve hypothesis. Environment, Development and Sustainability, 1-25.
- Ding, Y., Chin, L., Taghizadeh-Hesary, F., Abdul-Rahim, A. S., & Deng, P. (2023). How does government efficiency affect carbon emission intensity? A comprehensive empirical study. Environmental Science and Pollution Research, 30(59), 123067-123082.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. The Quarterly Journal of Economics, 110(2), 353–377.
- Guliyev, H., & Seyfullayev, I. (2025). Is the environmental Kuznets curve hypothesis valid for all countries? Fresh insights from bias-corrected dynamic panel data models. Journal of Environmental Management, 393, 126960.
- Gupta, S. D., Baudino, M., & Sarkar, S. (2025). Does the environmental Kuznets curve hold across sectors? Evidence from developing and emerging economies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 211, 115201.
- Han, T. T. T., & Lin, C. Y. (2025). Exploring long-run CO2 emission patterns and the environmental kuznets curve with machine learning methods. Innovation and Green Development, 4(1), 100195.
- http://cpdi.ir/
- https://ourworldindata.org/
- https://www.satba.gov.ir/
- IEA. (2024). CO_2 emissions from fuel combustion. International Energy Agency.
- Luan, L., Liu, P., & Mei, Y. (2025). The impact of pilot carbon market on firms' performance in China. Energy Economics, 142, 108164.
- Muratoğlu, Y., Songur, M., Uğurlu, E., & Şanlı, D. (2024). Testing the environmental Kuznets Curve hypothesis at the sector level: Evidence from PNARDL for OECD countries. Frontiers in Energy Research, 12, 1452906.
- OECD (2025), Open Government for the Green Transition: Panorama of Good Practices Towards Meaningful Citizen Participation, OECD Public Governance Reviews, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/bfa02935-en.
- Peng, W., Xiaoyuan, Y., & Haron, N. A. (2025). Relative improvements between roads and railways and transport carbon dioxide emissions: An environmental Kuznets curve hypothesis test in China. Sustainable Futures, 9, 100520.
- Polat, B., & Çil, N. (2025). Investigating the environmental Kuznets curve modified with HDI: evidence from a panel of eco-innovative countries. Environment, Development and Sustainability, 27(7), 16655-16682.
- Poumanyvong, P., & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO_2 emissions? Energy Policy, 38(10), 6327–6338.
- Prasad, M. N. V. (2024). Bioremediation, bioeconomy, circular economy, and circular bioeconomy—Strategies for sustainability. In Bioremediation and bioeconomy (pp. 3-32). Elsevier.
- Qamruzzaman, M., Almulhim, A. A., & Aljughaiman, A. A. (2025). Nexus between uncertainty, innovation, and environmental sustainability in BRICS: an analysis under the environmental Kuznets Curve (EKC) framework. Frontiers in Environmental Science, 13, 1570150.
- Rafiq, S., Paramati, S. R., Alam, M. S., Hafeez, K., & Shafiullah, M. (2025). Does institutional quality matter for renewable energy promotion in OECD economies?. International Journal of Finance & Economics, 30(1), 477-492.
- Sadorsky, P. (2012). Energy consumption, output and trade in South America. Energy Economics, 34(2), 476–488.
- Safdar, L. (2014). The relationship between twin deficit and stock market: An ARDL approach from Pakistan. Euro Economica, 33(01), 109-112.
- Sarkodie, S. A., & Ozturk, I. (2020). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Kenya: a multivariate analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 117, 109481.
- Schneiter, P., & Mellon-Bedi, S. (2025). The Environmental Kuznets Curve Revisited: A Spatial Panel Model with Heterogeneous Coefficients. Energy Economics, 143, 108237.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., & Shabbir, M. S. (2010). Environmental Kuznets curve and the role of energy consumption and trade openness in Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(7), 1602–1610.

- 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
- Suki, N. M., Sharif, A., Afshan, S., & Suki, N. M. (2020). Revisiting the environmental Kuznets curve in Malaysia: the role of globalization in sustainable environment. Journal of Cleaner Production, 264, 121669.
- Tran, K. T., & Tran, M. N. (2025). Does government effectiveness reduce the carbon-emitting effect of urbanization? A worldwide study. Management of Environmental Quality: An International Journal, 1-20.
- Voumik, L. C., Bekun, F. V., & Haseki, M. I. (2022). Modeling Energy, Education, Trade, and Tourism-Induced Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis: Evidence from the Middle East. Sustainability, 15(6), 4919. https://doi.org/10.3390/su15064919
- Wang, Q., Li, Y., & Li, R. (2024). Rethinking the environmental Kuznets curve hypothesis across 214 countries: the impacts of 12 economic, institutional, technological, resource, and social factors. Humanities and Social Sciences Communications, 11(1), 1-19.
- Wang, Q., Wang, X., & Li, R. (2022). Does urbanization redefine the environmental Kuznets curve? An empirical analysis of 134 Countries. Sustainable Cities and Society, 76, 103382.
- Wu, C.-F., Chen, S.-T., & Apergis, N. (2020). Identifying the impacts of income inequality on CO_2 emissions under heterogeneous finance conditions. Energy Economics, 90, 104848.
- Yuan, R., Masron, T. A., Chen, Y., & Azman, N. S. (2025). Government effectiveness on environmental degradation in developing countries. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-14.
- Zhang, S., Li, J., Jiang, B., & Guo, T. (2023). Government intervention, structural transformation, and carbon emissions: Evidence from China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(2), 1343.
- Zhu, S., Ji, J., Huang, Q., Li, S., Ren, J., He, D., & Yang, Y. (2024). Optimal scheduling and trading in joint electricity and carbon markets. Energy Strategy Reviews, 54, 101426.

- احمدیان مجید، عبدلی قهرمان، جبل عاملی، فرخنده، شعبان خواه، 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 .
- اسفندیاری، مرادی، افراخته، نوروزپور، و روانگرد. (۲۰۲۰). تحلیل محتوای اسناد بالادستی صنعت برق: مطالعه موردی شرکت برق منطقه‌ای گیلان. نشریه انرژی ایران, ۲۳(۳), ۱۵۵-۱۷۷.
- اعظمی و محجوبی.(۱۴۰۳). بررسی تأثیر حکمرانی خوب در کیفیت محیط‌زیست: تأکیدی بر نقش کیفیت نهادی در حصول توسعه پایدار. فصلنامه علمی پژوهش های اقتصاد صنعتی, ۸(۳۰).
- اعظمی، سمیه ، رحمانی، حمید و دل انگیزان، سهراب.(۱۴۰۳). منحنی زیست محیطی کوزنتس Nشکل: شواهدی از کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته. پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی, ۱۴(۵۵), ۱۰۹-۱۹۳. doi: 10.30473/egdr.2024.70318.6811 .
- باقری، سمانه . (۱۴۰۳). بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و انتشار آلودگی: مطالعه موردی ایران. محیط زیست و توسعه فرابخشی, ۹(۸۳), ۳۱-۴۴. doi: 10.22034/envj.2024.409623.1303 .
- پورکاظمی, محمد حسین و ابراهیمی, ایلناز . (۱۳۹۵). بررسی منحنی کوزنتس زیست محیطی در خاورمیانه. پژوهش‌های اقتصادی ایران, ۱۰(۳۴), ۵۷-۷۱ .
- چنگی آشتیانی، علی و غفاری، هادی. (۱۴۰۰). برآورد تقاضای انرژی الکتریکی بخش صنعت در ایران به روش هم‌جمعی و بررسی نقش آن در رشد اقتصادی. پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی, ۱۱(۴۴), ۱۳۶-۱۲۱. doi: 10.30473/egdr.2021.57056.6113 .
- خلیلی امیررضا، بهمنی مجتبی و نجاتی مهدی. (۱۴۰۴). تبیین پویا رابطه تولید ناخالص داخلی و تقاضای کل انرژی ایران در چارچوب منحنی کوزنتس. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران. doi: 10.22054/jiee.2025.82406.2115 .-, (), ,
- خلیلی امیر ضا، بهمنی مجتبی، نجاتی مهدی.(۱۴۰۴) بررسی رابطه‌ی بین گذار انرژی و شاخص‌های زیست محیطی ایران با استفاده از مدل پویا. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۴۰۴; ۲۱ (۸۵) :۶۸-۳۳
- خورسند وکیل‌زاده و جدیدزاده. (۱۴۰۳). بررسی فرضیه منحنی محیط زیستی کوزنتس با استفاده از شاخص‌های عملکرد محیط زیست و رشد اقتصاد سبز. فصلنامه پژوهشها و سیاستهای اقتصادی, ۳۲(۱۰۹), ۹۸-۱۳۸.
- خوش اخلاق، رحمان، دلالی اصفهانی، رحیم، یارمحمدیان، ناصر.(۱۳۹۰). تحلیل منحنی زیست محیطی کوزنتس با استفاده از فرایند کیفیت زیست محیطی مشمول انتخاب سبد مصرفی خانوار. تحقیقات مدلسازی اقتصادی. ۲ (۶) :۱۰۴-۸۵

- خوشکلام خسروشاهی.(۱۳۹۶). بررسی تأثیر مصرف برق بر تولید کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر (رویکرد داده های تابلویی پویا). تحلیل های اقتصادی توسعه ایران, ۵(۲), ۴۳-۵۹.
- رحمتی، فاطمه سادات، عنایتی، الهام، برومند کاخکی، احمد، افضلی، حمیدر ضا و عطاری، مازیار.(۱۴۰۱). آینده‌نگاری و ایجاد هو شمندی راهبردی- مطالعه موردی صنعت برق. فصلنامه آینده پژوهی راهبردی, ۱(۴), ۷-۳۴.
- رمضانیان باجگیران، بهاره، رزمی، سیده فاطمه، بهنامه، مهدی، و ابراهیمی سالاری، تقی. (۱۳۹۷). اثر مصرف انرژی الکتریکی بر تولید و انتشار گاز CO2 در کوتاه مدت و بلند مدت. همایش ملی مدیریت و اقتصاد با رویکرد اقتصاد مقاومتی .SID. https://sid.ir/paper/898694/fa
- رمضانیان باجگیران، بهاره، رزمی، سیده فاطمه، بهنامه، مهدی، و ابراهیمی سالاری، تقی. (۱۳۹۷). اثر مصرف انرژی الکتریکی بر تولید و انتشار گاز CO2 در کوتاه مدت و بلند مدت. همایش ملی مدیریت و اقتصاد با رویکرد اقتصاد مقاومتی .SID. https://sid.ir/paper/898694/fa
- سیفی پور، رویا. (۱۴۰۰). بررسی منحنی کوزنتس محیط زیستی در بخش صنعت اقتصاد ایران. انسان و محیط زیست، ۱۹(۳ (۵۸ پیاپی))، ۱-۱۵. SID. https://sid.ir/paper/1042294/fa
- صادقی، سید کمال و رشید عج عج، حیدر حمید . (۱۴۰۳). تحلیل تاثیر نامتقارن درآمدسرانه، جریان ورودی سرمایه و قیمت نفت بر انتشار CO2در ایران : رویکرد NARDL. نظریه های کاربردی اقتصاد, ۱۱(۴), ۱۳۷-۱۵۴ :doi . 10.22034/ecoj.2025.63212.3343
- صیادی، محمد، ابراهیمی، محسن و حسن زاده، زینب. (۱۴۰۴). ارزیابی رابطه بین یارانه انرژی و ردپای اکولوژیکی در قالب منحنی کوزنتس محیط زیستی در کشورهای منتخب .فصلنامه تحقیقات اقتصادی doi: .1098-1128 ,(2) ,*60* , 10.22059/jte.2025.390874.1008988
- عظیم‌زاده آرانی، محمد و احمدی، معین.(۱۴۰۳). تحلیل نظام تنظیم گری در صنعت برق روسیه و توصیه‌های سیاستی برای ایران. فصلنامه حقوق آب و برق, ۱(۱), ۱۷۵-۲۰۴doi: 10.30503/ewl.2024.197782 .
- علمی، زهرامیلا و آریان فر، فاطمه. (۱۴۰۲). نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات و درآمد سرانه بر انتشار CO2 در کشورهای صادرکننده نفت اوپک پلاس با تاکید بر منحنی زیست محیطی کوزنتس .*مطالعات علوم محیط زیست* doi: .7130-7148 ,(3) ,*8* , 10.22034/jess.2023.390380.1991
- فاخر حسینعلی. (۱۳۹۹). رویکردی تحلیلی بر رابطه بین رشد اقتصادی و تخریب محیطزیست در قالب فرضیه منحنی محیطزیستی کوزنتس و انواع شاخص‌های محیطزیستی. مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی, ۱(۳), ۲۵۲-۲۶۸ :doi . 10.22105/imos.2021.272348.1032
- فراهتی و سلیمی. (۱۴۰۱). آزمون تجربی فرضیه منحنی کوزنتس مالی برای ایران. مدلسازی اقتصادی, ۱۶(۵۷), ۶۷-۸۵.
- کریمی، محمد صادق و کریمی، محمد حسین.(۱۴۰۳). مدل‌های قراردادهای سرمایه گذاری در صنعت برق. فصلنامه حقوق آب و برق, ۱(۱), ۱۲۱-۱۴۷doi: 10.30503/ewl.2024.209027 .
- کشاورز، علیرضا، سپهری، محمدرضا و فرج زاده،زکریا. (۱۴۰۴). بررسی اثر ردپای بوم‌شناختی و کسری بوم‌شناختی بر کیفیت محیط زیست در ایران .*اقتصاد کشاورزی و توسعه* doi: 10.30490/aead.2025.366861.1623 .141-178 ,(4) ,*32* ,
- معلم، سپهر، محمدعلی پوراهری، رویا، شاهقلیان، غضنفر، معظمی، مجید، و کاظمی، سیدمحمد.(۱۴۰۱). پیش بینی بلندمدت تقاضا در «زنجیره تامین انرژی الکتریکی صنایع سنگ آهن اسپیدان» با استفاده از شبکه عصبی عمیق و ماشین یادگیری شدید. روش های هوشمند در صنعت برق، ۱۳(۴۹)، ۱-۲۰. SID. https://sid.ir/paper/1034576/fa .
- ملکی، عباس. (۱۳۹۳). سیاست‌گذاری انرژی. تهران: نشر نی.
- ملکی، فرزانه و فراهتی، محبوبه.(۱۴۰۴). تأثیر نابرابری درآمد بر منحنی زیست محیطی کوزنتس در استان‌های ایران .مدلسازی اقتصادسنجی doi: 10.22075/jem.2025.37357.2002 .193-228 ,(3) ,10 ,