

Energy Intensity in Iran: Examining the Threshold Effects of Economic Structure and Trade

Saleh Taheri Bazkhaneh^{*1} Mohammad Abdi Seyyedkolae² Seyyedeh Zahra Asghari
Hoseinabadi³

¹ Assistant Professor of Economics, Department of Economics and Accounting, Faculty of Management and Economics, University of Gillan, Rasht, Iran, Email: Saleh.taheri@guilan.ac.ir, ORCID: 0000-0002-3160-8890

² Associate Professor of Economics, Department of Theoretical Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran, Email: m.abdi.sk@umz.ac.ir, ORCID: 0000-0002-0528-7974

³ M.A. Student in Economics, University of Gillan, Rasht, Iran, Email: seyedzahraasghari@gmail.com, ORCID: 0009-0005-3266-1254

Abstract

The issue of optimizing energy consumption is a long-standing concern in developing economies. This study examines the effects of two key factors, namely economic structure and degree of trade openness, on energy consumption intensity in Iran. Going beyond linear analyses, a threshold econometric model is used to examine nonlinear relationships. This model identifies how different levels of energy intensity affect the patterns of influence of macroeconomic variables. Based on time series data of the Iranian economy (1973-2021), the results show that at low levels of energy intensity, both industrialization and trade openness significantly reduced energy consumption intensity. However, at high levels of energy intensity, industrial development increased energy intensity and trade openness no longer had a significant effect. In addition, studies show that the phenomenon of energy waste has had a positive and significant effect on current energy consumption at both levels. These findings emphasize the existence of nonlinear and variable relationships in the impact of economic variables on energy consumption intensity. Therefore, adopting integrated policies without considering the conditions of different levels of energy consumption intensity cannot be a solution. By explaining these relationships, this research paves the way for formulating targeted policies to reduce energy consumption intensity and achieve sustainable development in the Iranian economy.

Keywords: Energy Intensity, Industrialization, Trade Openness, Threshold Effects.

JEL Classification: C22, F10, O14, Q43.

* Corresponding Author: Saleh Taheri Bazkhaneh

Postal address: Department of Economics and Accounting, Faculty of Management and Economics, University of Gillan, Rasht, Iran, Email: Saleh.taheri@guilan.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Energy consumption is one of the fundamental drivers of production and economic growth, playing a crucial role in the development of countries. However, inefficient and excessive energy use can lead to serious environmental and economic challenges. Energy intensity—defined as the ratio of energy consumption to gross domestic product (GDP)—serves as a key indicator for evaluating energy efficiency and plays a significant role in reducing greenhouse gas emissions and enhancing energy security.

Research indicates that energy intensity is influenced by factors such as industrialization, energy prices, trade openness, economic growth, and urbanization. Industrialization, as one of the largest energy-consuming sectors, can reduce energy intensity through technological advancement and process optimization. Conversely, international trade, particularly the export of energy-intensive goods, may increase overall energy consumption. In this context, trade openness can allow developing countries to import advanced technologies from developed economies, thereby helping to lower energy intensity.

Examining the determinants of energy intensity—especially the nonlinear effects of macroeconomic variables—is of particular importance. While much of the existing literature has focused on linear relationships involving variables such as economic structure and trade openness, there is growing evidence that these relationships may in fact be nonlinear. Threshold econometric models offer valuable tools for gaining deeper insights into such complexities. In this regard, Iran's economy—characterized by its dependence on oil revenues and energy subsidies—faces significant challenges related to energy use. The country's energy intensity is notably higher than the global average, signaling inefficiencies and underscoring the need for targeted policy interventions. Structural and economic developments in Iran, including industrial policy shifts and increased global trade engagement, have affected its energy intensity in various ways.

This study investigates the impact of economic structure and trade openness on energy intensity in Iran during the period 1973–2021, focusing specifically on nonlinear dynamics and lagged effects. To this end, a threshold econometric model is employed. The analysis of time-series data from the Iranian economy aims to inform practical and effective policy recommendations for reducing energy intensity and enhancing energy efficiency.

2. Methodology

This research utilizes a threshold econometric model to examine the nonlinear relationships between economic structure, trade openness, and energy intensity. In such models, the effect of explanatory variables on the dependent variable changes when the explanatory variable crosses a certain threshold, allowing for variations such as intensification, mitigation, or reversal of the relationship.

3. Finding

The results reveal that during periods of low energy intensity, economic structure and trade openness contribute to improved energy efficiency. Mechanisms such as technology transfer and enhanced market competition appear to function effectively in these contexts, fostering the development of low-energy economic structures. However, at high levels of energy intensity, a shift toward energy-intensive industries has driven up energy consumption, while the benefits of trade openness have been limited due to weak institutional frameworks. These findings highlight the need for policymakers to consider the differing impacts of macroeconomic factors across varying energy intensity levels and to tailor policies accordingly.

4. Conclusion

This study underscores the nonlinear relationship between economic structure, trade openness, and energy intensity in Iran. At lower levels of energy intensity, industrialization and trade openness tend to reduce energy use, whereas at higher levels, industrialization exacerbates energy intensity. Additionally, the lag effect of energy consumption proves to be both positive and statistically significant at all levels. These insights suggest that energy policymaking should adopt a nuanced, evidence-based approach that accounts for nonlinearities and time-lagged effects.

Funding: Authors declared there is no funding support.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Authors' Contributions: Authors contributed to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the journal officials and referees.

شدت مصرف انرژی در ایران: بررسی آثار آستانه‌ای ساختار اقتصاد و تجارت

صالح طاهری بازخانه*^۱ محمد عبدی سیدکلایی^۲ سیده زهرا اصغری حسین‌آبادی^۳

^۱ استادیار، گروه اقتصاد و حسابداری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: Saleh.taheri@guilan.ac.ir شناسه اراکید: 0000-0002-3160-8890

^۲ دانشیار، گروه اقتصاد نظری، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران، ایمیل: m.abdi.sk@umz.ac.ir شناسه اراکید: 0000-0002-0528-7974

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم اقتصادی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: seyedzahraasghari@gmail.com شناسه اراکید: 0009-0005-3266-1254

چکیده

مسئله‌ی بهینه‌سازی مصرف انرژی، دغدغه‌ای قدیمی در اقتصادهای در حال توسعه است. این پژوهش، به دنبال کشف اثرات دو عامل کلیدی، یعنی ساختار اقتصاد و درجه‌ی باز بودن تجارتی، بر شدت مصرف انرژی در ایران پرداخته است. با رویکردی فراتر از تحلیل‌های خطی، از مدل اقتصادسنجی آستانه‌ای برای بررسی روابط غیرخطی استفاده شده است. این مدل، مشخص می‌کند چگونه سطوح مختلف شدت مصرف انرژی، بر الگوهای اثرگذاری متغیرهای کلان اقتصادی تأثیر می‌گذارند. بر اساس داده‌های سری زمانی اقتصاد ایران (۱۳۵۲-۱۴۰۰)، نتایج نشان می‌دهد که در سطوح پایین شدت مصرف انرژی، هم صنعتی شدن و هم باز بودن تجارتی، با کاهشی قابل توجه، بر شدت مصرف انرژی اثر گذاشته‌اند. اما، در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، توسعه صنعتی، موجب افزایش شدت مصرف انرژی شده و باز بودن تجارتی، دیگر اثر معناداری نداشته است. افزون بر این، بررسی‌ها نشان می‌دهد که پدیده پسماند مصرف انرژی، اثری مثبت و معنی‌دار بر مصرف انرژی کنونی در هر دو سطح داشته است. این یافته‌ها، بر وجود روابط غیرخطی و متغیر در اثرگذاری متغیرهای اقتصادی بر شدت مصرف انرژی تأکید دارد. از این رو، اتخاذ سیاست‌های یکپارچه و بدون توجه به شرایط سطوح مختلف شدت مصرف انرژی، نمی‌تواند راهگشا باشد. این پژوهش، با تبیین این روابط، راه را برای تدوین سیاست‌هایی هدفمند در جهت کاهش شدت مصرف انرژی و نیل به توسعه پایدار در اقتصاد ایران هموار می‌سازد.

واژگان کلیدی: شدت انرژی، صنعتی شدن، باز بودن تجارتی، اثرات آستانه‌ای

طبقه بندی JEL: Q43، O14، F10، C22

* نویسنده مسئول: صالح طاهری بازخانه

آدرس: استادیار، گروه اقتصاد و حسابداری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: Saleh.taheri@guilan.ac.ir

۱. مقدمه

مصرف انرژی، به عنوان یکی از عوامل کلیدی تولید، نقش بسزایی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها ایفا می‌کند. با این حال، مصرف بی‌رویه و ناکارآمد انرژی، چالش‌های جدی زیست‌محیطی و اقتصادی را به همراه دارد. شدت مصرف انرژی، که با مقدار انرژی مصرف شده به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی اندازه‌گیری می‌شود (چیمّا^۱، ۲۰۰۷)، نشان‌دهنده کارایی انرژی یک کشور یا منطقه و یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کارایی مصرف انرژی است (یو و همکاران^۲، ۲۰۲۲؛ بشیر و همکاران^۳، ۲۰۲۰). شدت انرژی به مسائل مختلفی از جمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش امنیت انرژی کمک می‌کند (رودنکو و تانساسوف^۴، ۲۰۲۲). همچنین کاهش شدت مصرف انرژی، می‌تواند به افزایش بهره‌وری و رقابت‌پذیری اقتصاد نیز منجر شود. بسیاری از مطالعات تجربی شدت انرژی را با صنعتی شدن، قیمت انرژی، باز بودن تجارت، رشد اقتصادی و شهرنشینی مرتبط می‌دانند (ژائو و وانگ^۵، ۲۰۱۵؛ ولی‌زاده و همکاران^۶، ۲۰۱۸؛ ابواگیه و نکتیا-آمپونساه^۷، ۲۰۱۶). صنعتی سازی که بیش‌ترین مصرف انرژی را دارد می‌تواند با توسعه و منطقی سازی بخش صنعت، شدت انرژی را کاهش دهد (سادورسکی^۸، ۲۰۱۳؛ ژو و همکاران^۹، ۲۰۱۹). در شرایط خروجی یکسان، بخش‌های صنعتی کم مصرف انرژی کمتری نسبت به بخش‌های پر مصرف، مصرف می‌کنند. هنگامی که این صنایع پرمصرف با صنایع کم مصرف جایگزین شوند، شدت انرژی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (یو و همکاران، ۲۰۱۶). تجارت نیز یکی از عوامل مصرف بالای انرژی است. تجارت جهانی شامل صادرات کالاهایی است که با مصرف بالای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط است (دوگان^{۱۰}، ۲۰۲۰). بنابراین افزایش تجارت بین‌المللی باعث افزایش فعالیت‌های اقتصادی و مصرف انرژی می‌شود (سادورسکی، ۲۰۱۲). همچنین باز بودن تجارت، اقتصادهای در حال توسعه را قادر می‌سازد تا

¹ Chima

² Yu et al.

³ Bashir et al.

⁴ Rudenko & Tanasov

⁵ Zhao & Wang

⁶ Valizadeh et al.

⁷ Aboagye & Nketiah-Amponsah

⁸ Sadorsky

⁹ Zhu et al.

¹⁰ Dogan

فناوری‌های پیشرفت را از اقتصادهای توسعه یافته وارد کنند. استفاده از فناوری‌های پیشرفته شدت مصرف انرژی را کاهش می‌دهد (نسرین و انوار^۱، ۲۰۱۴).

بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر شدت مصرف انرژی، به ویژه اثرات غیرخطی متغیرهای کلان اقتصادی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ادبیات موجود در این زمینه، به طور گسترده‌ای به بررسی اثرات خطی متغیرهایی مانند ساختار اقتصاد (صنعتی شدن) و درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی پرداخته است. با این حال، شواهد رو به رشدی وجود دارد که نشان می‌دهد این روابط ممکن است غیرخطی باشند و بسته به شرایط اقتصادی، متغیرهای دیگر و سطوح مختلف شدت مصرف انرژی، اثرات متفاوتی داشته باشند. مدل‌های اقتصادسنجی آستانه‌ای، ابزاری قدرتمند برای بررسی این روابط غیرخطی هستند و می‌توانند درک عمیق‌تری از مکانیسم‌های اثرگذاری متغیرهای اقتصادی بر شدت مصرف انرژی ارائه دهند. همچنین، بررسی پدیده پسماند در مصرف انرژی و تاثیر آن بر رفتار مصرف کننده و بنگاه‌های اقتصادی، از اهمیت فراوانی برخوردار است.

اقتصاد ایران، به دلیل وابستگی شدید به درآمدهای نفتی و وجود یارانه‌های انرژی، همواره با چالش‌های جدی در زمینه مصرف انرژی مواجه بوده است. شدت مصرف انرژی در ایران، به مراتب بالاتر از میانگین جهانی و کشورهای مشابه است^۲. این امر، نشان‌دهنده ناکارآمدی سیستم مصرف انرژی و وجود پتانسیل‌های فراوان برای بهبود بهره‌وری است. از طرف دیگر، اقتصاد ایران در طول دهه‌های گذشته، شاهد تغییرات ساختاری و تحولات اقتصادی قابل توجهی بوده است. سیاست‌های توسعه صنعتی، گسترش تجارت بین‌المللی، و تغییر در الگوی مصرف خانوارها، همگی بر شدت مصرف انرژی اثرگذار بوده‌اند. علاوه بر این، تحریم‌های اقتصادی و محدودیت‌های دسترسی به فناوری‌های نوین، چالش‌های جدیدی را در زمینه مدیریت مصرف انرژی به وجود آورده است. با توجه به چالش‌های یاد شده، بررسی اثرات ساختار اقتصاد و درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی در ایران، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجا که اثرات این متغیرها ممکن است غیرخطی باشد و بسته به سطوح مختلف شدت مصرف انرژی متفاوت باشد، استفاده از مدل‌های آستانه‌ای می‌تواند به سیاست‌گذاران در درک بهتر این روابط و طراحی سیاست‌های هدفمند کمک کند. همچنین، مطالعه اثر پسماند در مصرف انرژی، می‌تواند درک بهتری از

^۱ Nasreen & Anwar

^۲ بر پایه گزارش سازمان بین‌المللی انرژی (IEA) در سال ۲۰۲۳، شدت انرژی ایران معادل ۰.۲۸ تن معادل نفت خام (toe) به ازای هر هزار دلار GDP (بر اساس قیمت‌های ثابت ۲۰۱۵) است. این مقدار ۲.۵ برابر میانگین جهانی حتی بالاتر از کشورهای نفتی مشابه مانند عربستان سعودی است.

الگوهای رفتاری مصرف کنندگان و بنگاه های اقتصادی ارائه دهد. این تحقیق، با بررسی دقیق این روابط غیرخطی و با در نظر گرفتن شرایط خاص اقتصاد ایران، تلاش می کند تا به سوالات زیر پاسخ دهد: آیا رابطه بین ساختار اقتصاد و شدت مصرف انرژی در سطوح مختلف شدت مصرف انرژی، متفاوت است؟ آیا درجه باز بودن تجاری، به طور یکسان بر شدت مصرف انرژی در سطوح مختلف شدت مصرف انرژی تاثیر می گذارد؟ پسماند مصرف انرژی چه نقشی در تعیین سطح کنونی شدت مصرف انرژی دارد؟ چه سیاست هایی می توان برای کاهش شدت مصرف انرژی در ایران با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد داد؟ این تحقیق با تحلیل داده های سری زمانی اقتصاد ایران، می تواند به ارائه راهکارهای سیاستی عملی و موثر برای کاهش شدت مصرف انرژی و بهبود کارایی مصرف انرژی در ایران منجر شود.

مقاله حاضر در ۵ بخش می کوشد به هدف ترسیم شده نائل آید. در بخش دوم، ادبیات موضوع از حیث مبانی نظری و مطالعات تجربی مورد بررسی قرار می گیرند. بخش سوم، روش شناسی پژوهش را ارائه می کند. در بخش چهارم، نتایج پژوهش تشریح می شوند. در بخش پنجم، با جمع بندی و ارائه پیشنهادها سیاستی مطالعه خاتمه می یابد.

۲. ادبیات موضوع

در بخش حاضر، ابتدا مبانی نظری اثرگذاری ساختار اقتصاد و تجارت بر شدت انرژی بررسی می شود. سپس، اهم مطالعات تجربی داخلی و خارجی مرور می شود.

۲-۱. مبانی نظری

در این قسمت نحوه اثرگذاری غیرخطی دو متغیر صنعتی شدن و درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی از طریق کانال های مختلف بررسی می شود.

۲-۲-۱. اثرگذاری غیرخطی ساختار اقتصاد (صنعتی شدن) بر شدت مصرف انرژی با توجه به سطوح شدت مصرف انرژی:

صنعتی شدن از طریق کانال های مختلف می تواند بر مصرف انرژی اثر بگذارد. این تاثیرات می تواند مثبت، منفی و یا حتی بی معنی باشند. برخی از این کانال ها عبارتند از اثرات مقیاس، ترکیب و فناوری در فرآیند توسعه صنعتی، قابلیت انطباق بخش های اقتصادی با سطوح مختلف شدت انرژی، اثرات انتقال و انتشار فناوری، اثرات ساختاری و نهادی، اثربخشی سیاست های انرژی و سیگنال دهی قیمت ها با توجه به سطوح مختلف شدت انرژی. در ادامه به بررسی هر یک از این کانال ها و چگونگی اثرگذاری آن ها پرداخته می شود. در فرآیند توسعه صنعتی، تأثیرات مقیاس، ترکیب و فناوری بر شدت مصرف انرژی قابل توجه است. به

عقیده لیو و همکاران^۱، (۲۰۰۸)؛ کائو^۲، (۲۰۱۷)؛ هو و همکاران^۳، (۲۰۱۶) و وویگت و همکاران^۴، (۲۰۱۴)، در مراحل ابتدایی، تمرکز بر صنایع سبک و با بهره‌وری بالا باعث افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود، اما با افزایش فعالیت‌های صنعتی و ورود صنایع سنگین، شدت مصرف انرژی ممکن است افزایش یابد. در سطوح بالای شدت مصرف، فشار برای بهبود بهره‌وری و استفاده از فناوری‌های نوین می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند و اثرات منفی صنعتی شدن را متعادل سازد.

قابلیت انطباق بخش‌های اقتصادی با شدت مصرف انرژی تحت تأثیر شرایط موجود قرار دارد؛ هاس و کمپا^۵، (۲۰۱۸)؛ کائو، (۲۰۱۷)؛ هافمن و لیبر^۶، (۲۰۱۷)؛ سینتون و لوین^۷، (۱۹۹۴) و راتنر و همکاران^۸، (۲۰۲۲) معتقدند که در سطوح پایین شدت مصرف انرژی که زیر آستانه قرار دارد، بخش‌ها معمولاً پایدارتر و آماده‌تر برای تغییر به سمت فناوری‌های کم‌مصرف هستند. اما در سطوح بالای شدت مصرف انرژی که بالای آستانه قرار دارد، بخش‌ها به سمت فناوری‌های انرژی‌بر حرکت کرده و تغییر ساختار اقتصادی ممکن است به افزایش مصرف انرژی منجر شود. در این شرایط، بنگاه‌ها ممکن است به دنبال برنامه‌ریزی بلندمدت برای کاهش مصرف انرژی باشند، اما اثرگذاری تغییرات کمتر خواهد بود.

انتقال و انتشار فناوری در سطوح مختلف شدت مصرف انرژی تأثیرات متفاوتی دارد که به شرایط هر کشور و مرحله توسعه صنعتی بستگی دارد. به عقیده سائودی و همکاران^۹، (۲۰۱۹)؛ جولاند و همکاران^{۱۰}، (۲۰۲۱) و ایبکوه و همکاران^{۱۱}، (۲۰۲۴)، در سطوح پایین شدت مصرف انرژی، استفاده از فناوری‌های پیشرفته می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند، اما تأخیر در انتقال فناوری ممکن است به تداوم روش‌های پرمصرف منجر شود. در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، ورود فناوری‌های کم‌مصرف می‌تواند به بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها کمک کند، اما عدم دسترسی به این فناوری‌ها می‌تواند مصرف انرژی را افزایش دهد و اثرات مثبت و منفی را خنثی کند.

تأثیرات ساختاری و نهادی در شدت مصرف انرژی بسیار مهم است؛ به عقیده آژگالیوا و همکاران^{۱۲}،

¹ Liu et al.

² Cao

³ Hu et al.

⁴ Voigt et al.

⁵ Haas & Kempa

⁶ Hofman & Laber

⁷ Sinton & Levine

⁸ Ratner et al.

⁹ Saudi et al.

¹⁰ Jeuland et al.

¹¹ Ibekwe et al.

¹² Azhgaliyeva et al.

(۲۰۲۰)؛ آلوارز و همکاران^۱، (۲۰۱۵)؛ وویگت و همکاران، (۲۰۱۴)؛ آلواردو و همکاران^۲، (۲۰۲۳) و سوسلوف و اکاترینا^۳، (۲۰۱۹)، در سطوح پایین، اجرای صحیح سیاست‌ها می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند، اما نهادهای ضعیف ممکن است باعث افزایش آن شوند. در سطوح بالای شدت مصرف، فشار برای اصلاح سیاست‌ها افزایش می‌یابد و در صورت اجرای ناکارآمد، ممکن است مصرف انرژی بیشتر شود و اثرات مثبت خنثی گردد.

اثر بخشی سیاست‌های انرژی در سطوح مختلف شدت مصرف انرژی به شرایط موجود بستگی دارد؛ به عقیده استرن^۴، (۲۰۱۷)؛ کیو و همکاران^۵، (۲۰۲۰)؛ چو و لی^۶، (۲۰۲۲)؛ هاس و کمپاو، (۲۰۱۸)؛ لی^۷، (۲۰۱۹) و سینتون و لوین، (۱۹۹۴)، در سطوح پایین، سیاست‌های تشویقی می‌توانند مؤثر باشند، اما عدم قطعیت در قیمت‌ها ممکن است اجرای آن‌ها را دشوار کند. در سطوح بالای شدت مصرف، پیش‌بینی اثرات سیاست‌ها سخت‌تر است و ممکن است نتوانند اثرات مورد انتظار را ایجاد کنند، که به چالش‌های جدیدی در مدیریت مصرف انرژی منجر می‌شود.

در نهایت سیگنال‌دهی قیمت‌ها در بازار انرژی در سطوح مختلف شدت مصرف انرژی تأثیرات متفاوتی دارد؛ دهلکویست و پاتریک^۸، (۲۰۱۹)؛ شی^۹، (۲۰۰۵)؛ راجگورو و خان^{۱۰}، (۲۰۲۱)؛ نایم‌اوغلو و اوزبک^{۱۱}، (۲۰۲۲) و گوروس و کاراگل^{۱۲}، (۲۰۲۲) معتقدند، در سطوح پایین، قیمت‌های پایدار به تصمیم‌گیری بهتر برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌مصرف کمک می‌کند، اما بی‌ثباتی قیمت‌ها می‌تواند سیگنال‌های نادرست ارسال کند. در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، اگرچه قیمت‌ها ممکن است پایدار باشند، نوسان می‌تواند تصمیم‌گیری‌ها را دشوار کرده و به عدم قطعیت در مدیریت مصرف انرژی منجر شود.

بنابراین با توجه به مبانی نظری فوق، می‌توان نتیجه گرفت که اثر ساختار اقتصاد (صنعتی شدن) بر شدت مصرف انرژی، یک رابطه پیچیده و غیرخطی است و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. هم مکانیسم‌های کلی اثرگذاری و هم سطوح مختلف شدت مصرف انرژی، می‌توانند شرایط مختلفی را ایجاد کنند که تأثیرات متفاوتی بر این رابطه داشته باشد. مهم است که توجه داشته باشیم این اثرات ممکن است همزمان

¹ Alvarez et al.

² Alvarado et al.

³ Suslov & Ekaterina

⁴ Stern

⁵ Qiu et al.

⁶ Chu & Le

⁷ Li

⁸ Dahlqvist & Patrik

⁹ Shi

¹⁰ Rajaguru & Khan

¹¹ Naimoglu & Ozbek

¹² Gorus & Karagol

وجود داشته باشند و بسته به شرایط خاص کشور، اثر هر کدام متفاوت باشد.

۲-۲-۲. مبانی نظری اثرگذاری غیرخطی درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی با توجه به سطوح شدت مصرف انرژی:

درجه باز بودن تجاری نیز به نوبه خود از طریق کانال‌های مختلف می‌تواند بر مصرف انرژی اثر مثبت و منفی داشته و یا بی‌معنی باشد. از جمله این کانال‌ها عبارتند از ترکیب کالاهای مبادله‌ای، تکنولوژی، مقیاس، رقابت و اثرات سیاست‌ها و مقررات تجاری با توجه به سطوح مختلف شدت مصرف انرژی. در ادامه به بررسی هر یک از این کانال‌ها و چگونگی اثرگذاری آن‌ها پرداخته خواهد شد.

به عقیده مولدر^۱، (۲۰۱۵)؛ راجنیش^۲، (۲۰۱۷)؛ چن و همکاران^۳، (۲۰۲۲) و رحمان و همکاران^۴، (۲۰۲۳)، کانال ترکیب کالاهای مبادله‌ای اثرات متفاوتی بر شدت مصرف انرژی دارد؛ در سطوح پایین، تولید کالاهای کم‌مصرف و باز بودن تجاری می‌تواند به کاهش شدت مصرف انرژی کمک کند، اما واردات کالاهای انرژی‌بر ممکن است این روند را معکوس کند. در سطوح بالای شدت مصرف، افزایش واردات کالاهای انرژی‌بر و صادرات کالاهای کم‌مصرف می‌تواند به افزایش مصرف انرژی منجر شود، در حالی که انتقال فناوری‌های جدید نیز می‌تواند اثرات مثبتی داشته باشد، اما همزمانی واردات کالاهای انرژی‌بر می‌تواند این اثرات را خنثی کند.

کانال تکنولوژی تأثیرات متفاوتی بر شدت مصرف انرژی دارد؛ ونگ و همکاران^۵، (۲۰۲۱) و چن و همکاران، (۲۰۲۲) معتقدند، در سطوح پایین، استفاده از فناوری‌های پیشرفته و باز بودن تجاری می‌تواند به کاهش شدت مصرف انرژی کمک کند، اما عدم دسترسی به فناوری‌های جدید یا عدم سازگاری آن‌ها می‌تواند این تأثیر را خنثی کند. در سطوح بالای شدت مصرف، وابستگی به فناوری‌های قدیمی ممکن است مانع از پذیرش سریع فناوری‌های جدید شود و در صورت عدم برنامه‌ریزی مناسب، اثرات مثبت و منفی انتقال فناوری ممکن است یکدیگر را خنثی کنند.

همچنین کانال مقیاس تأثیرات متفاوتی بر شدت مصرف انرژی دارد؛ به عقیده الخاتب و محمود^۶، (۲۰۱۹) و لی^۷، (۲۰۲۲)، در سطوح پایین، افزایش مقیاس تولید می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک کند، اما ممکن است منجر به افزایش تقاضا و شدت مصرف انرژی شود. در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، باز بودن تجاری می‌تواند به کاهش شدت مصرف انرژی کمک کند، اما وابستگی به صادرات کالاهای انرژی‌بر

¹ Mulder

² Rajneesh

³ Chen et al.

⁴ Rahman et al.

⁵ Wang et al.

⁶ Alkhateeb & Mahmood

⁷ Le

ممکن است اثرات مثبت و منفی را خنثی کند و اثر قابل توجهی بر روند مصرف انرژی نداشته باشد. یکی دیگر از کانال‌های اثرگذاری، کانال رقابت است. به عقیده شکرابارتی و مازانتی^۱، (۲۰۲۰)؛ پتریک^۲، (۲۰۱۳) و ون و همکاران^۳، (۲۰۲۴)، در شرایط پایین شدت مصرف انرژی، رقابت ناشی از باز بودن تجاری می‌تواند شرکت‌ها را به نوآوری و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کارآمد ترغیب کند، اما ممکن است به کاهش استانداردها و استفاده از فناوری‌های ناکارآمد منجر شود. در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، باز بودن تجاری می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند، اما فشار برای کاهش هزینه‌ها ممکن است با کاهش استانداردها همراه باشد و اثرات مثبت و منفی را خنثی کند.

اثرات سیاست‌ها و مقررات تجاری از دیگر کانال‌های اثرگذاری بر شدت مصرف انرژی می‌باشد. به عقیده آژگالیوا و همکاران، (۲۰۲۰)؛ ونگ و همکاران، (۲۰۲۱)؛ هوبلر و گلاس^۴، (۲۰۱۴)، چن و همکاران، (۲۰۲۲) و قمرزمان^۵، (۲۰۲۲)، در سطوح پایین شدت مصرف انرژی، سیاست‌های تجاری که واردات کالاهای کم‌مصرف و فناوری‌های سبز را تشویق می‌کنند، می‌توانند به کاهش مصرف انرژی کمک کنند، اما تسهیل واردات کالاهای انرژی‌بر ممکن است اثرات منفی داشته باشد. در سطوح بالای شدت مصرف، افزایش تعرفه‌ها بر کالاهای انرژی‌بر می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند، اما تسهیل واردات کالاهای ناکارآمد به بهانه کاهش هزینه‌ها ممکن است مصرف انرژی را افزایش دهد و اثرات متناقضی ایجاد کند. در نتیجه، با توجه به مبانی نظری فوق، می‌توان نتیجه گرفت که اثر درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی رابطه‌ای پیچیده و غیرخطی است که تحت تأثیر عوامل مختلف و شرایط خاص کشورها قرار دارد.

۲-۲. پیشینه پژوهش

در این بخش اهم مطالعات تجربی خارجی و داخلی بررسی می‌شود.

۲-۲-۱. مطالعات خارجی

پن و همکاران^۶ (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای به بررسی اثر درجه باز بودن تجاری و توسعه مالی بر شدت انرژی در بنگلادش طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۷۶ پرداختند. نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل خودرگرسیون برداری ساختاری نشان داد که صنعتی شدن و درجه باز بودن تجاری به ترتیب تأثیر مستقیم مثبت و منفی بر شدت انرژی دارد. اما صنعتی شدن و درجه باز بودن تجاری هر دو به ترتیب از طریق نوآوری‌های تکنولوژی و رشد اقتصادی اثر غیرمستقیم منفی بر شدت انرژی دارند.

¹ Chakraborty & Mazzanti

² Petrick

³ Wen et al.

⁴ Hubler et al.

⁵ Qamruzzaman

⁶ Pen et al.

سهو و سستی^۱ (۲۰۲۰)، در مطالعه خود اثر صنعتی شدت بر مصرف انرژی در هند را بررسی کردند. نتایج حاصل از رویکرد جوهانسون-جوسیلیوس و تکنیک هم‌انباشتگی شکست ساختاری گرگوری و هانسن طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۰ نشان داد صنعتی شدن نقش مهمی در افزایش مصرف انرژی دارد.

ژانگ و همکاران^۲ (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای به بررسی اثر درجه باز بودن تجاری بر مصرف انرژی برای ۳۵ کشور در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۹ پرداختند. نتایج حاصل از استفاده از مدل رگرسیون انتقال صاف نشان داد درجه باز بودن تجاری به طور مثبت بر مصرف انرژی تجدیدپذیر اثر گذاشته است. اثرات آن ابتدا یک روند نزولی را دنبال می‌کند و سپس به روند صعودی تغییر می‌یابد.

سو و همکاران^۳ (۲۰۲۲)، در مطالعه خود مصرف سرانه انرژی در ۱۱۶ کشور را با توجه به اثرات شهرنشینی، صنعتی شدن، تولید ناخالص داخلی و درجه باز بودن تجاری بررسی کردند. بدین منظور از داده‌های دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۴ استفاده کردند. نتایج حاصل از به کارگیری مدل آستانه نشان داد تغییرات در ساختار اقتصادی (صنعتی شدن) از رشد سرانه مصرف انرژی تجدیدپذیر جلوگیری می‌کند. با این حال با افزایش سطح صنعتی شدن از آستانه این بازدارندگی ضعیف می‌شود. در زمینه ساختار تجاری، درجه باز بودن تجاری به رشد سرانه مصرف انرژی تجدیدپذیر کمک می‌کند. پس از عبور ساختار تجاری از مقدار آستانه این ارتقا تقویت می‌شود.

قمرزمان (۲۰۲۴)، در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین درجه باز بودن تجاری، صنعتی شدن، شهرنشینی و مصرف انرژی در کشورهای بریک پرداخت. در این مطالعه از تکنیک‌های اقتصادسنجی پانل برای دوره زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۴ استفاده کرد. نتایج در ابتدا یک رابطه مثبت میان باز بودن تجارت و مصرف انرژی را نشان می‌دهد. به این صورت که اتخاذ سیاست‌های تجاری آزاد، استفاده از انرژی پاک را تشویق می‌کند. با این حال، در طول زمان، این ارتباط ضعیف‌تر می‌شود و نشان می‌دهد که در یک لحظه بحرانی، ترویج باز بودن تجارت ممکن است منجر به افزایش استفاده از منابع غیرتجدیدپذیر شود. همچنین صنعتی‌سازی ابتدا نیاز به منابع انرژی سنتی را تحریک می‌کند، اما در نهایت استفاده از انرژی تجدیدپذیر را تشویق می‌کند.

¹ Sahoo & Sethi

² Zhang et al.

³ Su et al.

نعیم اوغلو و همکاران (۲۰۲۴)، اثرات صنعتی شدن بر شدت انرژی در هند را طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ بررسی کردند. نتایج حاصل از به کارگیری روش حداقل مربعات معمولی نشان داد، صنعتی سازی و یکپارچگی اقتصادی شدت انرژی را افزایش می دهد.

۲-۲-۲. مطالعات داخلی

دل انگیزان و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه خود به بررسی اثر ساختار صنعتی بر شدت مصرف انرژی در صنایع کارخانه ای ایران پرداختند. بدین منظور از روش حداقل مربعات تعمیم یافته برای دوره زمانی ۱۳۷۵-۱۳۹۰ استفاده کردند. نتایج نشان دهنده بی معنی بودن اثر درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی طی سال های مورد مطالعه است.

حجازی (۱۳۹۶)، در مطالعه خود به بررسی تاثیر جمعیت شهرنشینی و درجه باز بودن تجاری بر مصرف انرژی کشورهای در حال توسعه طی دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۱۳ با استفاده از الگوی داده های تابلویی پرداخت. نتایج نشان داد اثر درجه باز بودن تجاری بر مصرف انرژی در گروه کشورهای در حال توسعه مثبت و معناداری است.

نعیمی و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری با وقفه توزیعی به بررسی ارتباط بین توسعه مالی و مصرف انرژی در ایران با تأکید بر صنعتی شدن و شهرنشینی پرداختند. برای این منظور از داده های دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۰ استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد صنعتی شدن اثر مثبت و معناداری بر مصرف انرژی دارد.

عزیزی نوروزآبادی و سلمانی بیشک (۱۴۰۳)، در مطالعه ای اثر آستانه ای صنعتی شدن بر رابطه بین تنوع صادرات و شدت انرژی در ایران را طی دوره ۲۰۲۲-۱۹۶۵ بررسی کردند. برای این منظور یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم با یک سطح آستانه برآورد کردند که در آن سطح صنعتی شدن به عنوان متغیر گذار انتخاب شده است. نتایج نشان می دهد که متغیر شاخص صنعتی شدن می تواند به عنوان متغیر انتقال نقش مهمی در تغییر ضرایب در الگوی شدت انرژی داشته باشد. بدین ترتیب که در مراحل اولیه صنعتی شدن، افزایش تنوع صادراتی منجر به کاهش شدت انرژی شده و بعد از گذشت اقتصاد از سطح معینی از صنعتی شدن، با افزایش تنوع صادراتی، به علت ورود محصولات صنعتی با انرژی بری بالاتر به سبد صادراتی، شدت انرژی نیز بالا رفته است.

۳. روش شناسی پژوهش

در مطالعات اقتصادی، معمولاً تأثیر یک یا چند متغیر توضیحی بر متغیر وابسته مورد بررسی قرار می‌گیرد. اما برای اهداف سیاست‌گذاری، یک نکته مهم، برآورد مقادیر متغیر توضیحی است که در اطراف آن تأثیر این متغیر بر متغیر وابسته تغییر می‌کند. این تغییر می‌تواند به صورت تشدید یا تخفیف تأثیر متغیر توضیحی بر متغیر وابسته باشد و همچنین ممکن است به تغییر جهت تأثیرگذاری متغیر توضیحی بر متغیر وابسته منجر شود. به این مقادیر که شدت یا جهت اثرگذاری متغیر توضیحی بر متغیر وابسته تغییر می‌کند، مقادیر بحرانی یا حدود آستانه‌ای گفته می‌شود. روش رگرسیون آستانه‌ای که توسط هانسن^۱ (۱۹۹۹) معرفی شده است، به بررسی این موضوع می‌پردازد که آیا توابع رگرسیونی به طور یکنواخت از تمامی مشاهدات عبور می‌کنند یا اینکه امکان تقسیم آن‌ها به گروه‌های مجزا وجود دارد؟ در یک الگوی تغییر رژیم^۲، رفتار $\{y_t\}$ به وضعیت سیستم وابسته است. تغییرات در رژیم ممکن است به مقدار متغیر مورد نظر یا نتایج انتخابات بستگی داشته باشد که می‌تواند رفتار تصمیم‌گیران اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهد، یا ممکن است به عوامل غیرقابل مشاهده مرتبط باشد (اندرس، ۱۳۹۱).

اگر مجموعه نمونه مشاهده شده به صورت $\{y_i, x_i, q_i\}_{i=1}^n$ باشد، طوری که y_i و q_i مقادیر واقعی بوده و x_i بیانگر m بردار از مشاهدات باشد، آنگاه متغیر آستانه q_i می‌تواند به صورت عنصری x_i بروز نماید، که فرض بر پیوستگی توزیع آن وجود دارد. الگوی رگرسیون آستانه‌ای به شکل زیر می‌باشد:

$$y_i = \theta_1' x_i + e_i \quad q_i \leq \gamma \quad (۱)$$

$$y_i = \theta_2' x_i + e_i \quad q_i > \gamma \quad (۲)$$

این الگو امکان وجود اختلاف در میان ضرایب رگرسیون را با توجه به مقدار q_i ایجاد می‌کند (هانسن، ۲۰۰۰). برای نوشتن الگو در یک معادله واحد، یک متغیر دومی به شکل $d_i(\gamma) = \{q_i \leq \gamma\}$ معرفی شده، که در آن $\{ \cdot \}$ بیانگر یک تابع مقیاس بوده که $x_i(\gamma) = x_i d_i(\gamma)$ قرار داده، به گونه‌ای که معادلات (۱) و (۲) به صورت زیر خواهد بود:

$$y_i = \theta' x_i + \delta_n' x_i(\gamma) + e_i \quad (۳)$$

^۱ Hansen

^۲ Regime Change

که در معادله بالا، $\theta = \theta_2$ است. معادله (۳) برای تمامی ضرایب رگرسیون، امکان جابه‌جایی بین رژیم‌های مختلف را فراهم می‌کند، اما به گونه‌ای که این جابه‌جایی در تحلیل این الگو ضروری نخواهد بود. همچنین، امکان گسترش نتایج برای حالتی که تنها یک زیرمجموعه از ضرایب قادر به جابه‌جایی بین رژیم‌ها هستند یا حالتی که برخی از رگرسورها فقط در یکی از دو رژیم وارد می‌شوند، وجود دارد.

برای ارائه الگو در یک فرم ماتریسی، ابتدا باید بردارهای $n \times 1$ به نام‌های Y و e را به واسطه انباشته نمودن متغیرهای y_i و e_i و ماتریس‌های $n \times m$ با نام‌های X و X_γ را با انباشته نمودن مقادیر متغیرهای x_i و $x_{\gamma i}$ تعریف کرد. سپس معادله (۳) را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$Y = X\theta + X_\gamma \delta_n + e \quad (4)$$

ضرایب رگرسیون در این شرایط عبارتند از $(\theta, \delta_n, \gamma)$ ، و برآوردگر طبیعی حداقل مربعات است. فرض کنید که:

$$S_n(\theta, \delta, \gamma) = (Y - X\theta - X_\gamma \delta_n)' (Y - X\theta - X_\gamma \delta_n) \quad (5)$$

بیانگر تابع مجموع مجذور خطا باشد. آن گاه برآوردهای حداقل مربعات، یعنی $\hat{\theta}, \hat{\delta}, \hat{\gamma}$ به طور مشترک تابع مربوط به معادله (۵) را حداقل می‌کنند. به منظور حداقل سازی، فرض می‌شود که γ مقید به مجموعه کران‌دار $[\gamma, \gamma] = \Gamma$ است. باید به این نکته توجه داشت که برآوردگر حداقل مربعات، برآورد حداکثر درست‌نمایی است وقتی که جمله اخلاص e_i دارای توزیع نرمال مستقل و یکنواخت با میانگین صفر و واریانس σ است $[N(0, \sigma^2)]$ (هانسن، ۲۰۰۰).

ساده‌ترین روش محاسبه برای به دست آوردن برآوردهای حداقل مربعات به واسطه انباشت صورت می‌گیرد. مشروط به مقدار آستانه ای γ ، رابطه (۴) تابع خطی نسبت به θ و δ_n بوده، که برآوردهای حداقل مربعات معمولی شرطی $\theta(\gamma)$ و $\delta(\gamma)$ را به واسطه رگرسیون بردار Y بر روی $X_\gamma^* = [X, X_\gamma]$ به دست می‌آورد. تابع مجموع انباشت شده مجذور جملات اخلاص به شکل زیر خواهد بود:

$$S_n(\gamma) = S_n(\theta(\gamma), \delta(\gamma), \gamma) = Y'Y - Y'X_\gamma^* (X_\gamma^{*'} X_\gamma^*)^{-1} X_\gamma^{*'} Y \quad (6)$$

و $\hat{\gamma}$ بیانگر مقداری خواهد بود که $S_n(\gamma)$ را حداقل می‌کند. از آن جا که $S_n(\gamma)$ کمتر از n مقدار متفاوت را می‌تواند به خود گیرد، می‌توان $\hat{\gamma}$ را به صورت زیر تعریف کرد:

$$\hat{\gamma} = \underset{\gamma \in \Gamma^n}{\operatorname{argmin}} S_n(\gamma) \quad (7)$$

که در آن، $\Gamma_n = \Gamma \cap \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ بوده، که نیازمند چیزی کمتر از n ارزیابی تبعی است. برآورد ضرایب شیب را می توان به واسطه ی روابط $\theta = \theta(\gamma)$ و $\delta = \delta(\gamma)$ محاسبه کرد.

اگر مقدار n به اندازه کافی بزرگ باشد، می توان Γ را به صورت یک سیستم معادلات تقریب زد. برای برخی مقادیر $N < n$ ، فرض کنید که q_j نشان دهنده ی چارک (j/N) ام از نمونه $\{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ بوده، و فرض کنید که $\Gamma_N = \Gamma \cap \{q_{(1)}, q_{(2)}, \dots, q_{(N)}\}$ باشد. آنگاه خواهیم داشت که $\hat{\gamma}_N = \underset{\gamma \in \Gamma_N}{\operatorname{argmin}} S_n(\gamma)$ یک تقریب مناسب برای $\hat{\gamma}$ بوده که تنها نیازمند N ارزیابی تبعی است (هانسن، ۲۰۰۰).

از دیدگاه محاسباتی، الگوی آستانه ای (۱) و (۲) بسیار کوچک تر از الگوی نقطه تغییر است که در آن متغیر آستانه همان زمان است ($q_i = t$). در حقیقت، اگر مقادیر مشاهده شده q_i مجزا از یکدیگر باشند، ضرایب را می توان به واسطه مرتب سازی داده ها براساس q_i ، و سپس به کارگیری روش های شناخته شده برای الگوهای نقطه تغییر به دست آورد. هنگامی که مقادیر به هم وابسته ای برای q_i وجود داشته باشد، فرآیند برآورد بسیار ظریف تر خواهد بود، به طوری که فرآیند مرتب سازی دیگر به خوبی تعریف نشده و مناسب نیست. با این وجود از منظر توزیعی، الگوی آستانه ای از الگوی نقطه تغییر بسیار متفاوت می باشد. یک راه برای مشاهده این موضوع، در نظر گرفتن این مسئله است که اگر رگرسورهای x_i مقادیر q_i را در برگیرند، آنگاه مرتب سازی داده ها براساس q_i روندی را در رگرسورهای x_i ایجاد می کند، طوری که الگوی آستانه ای به نوعی مشابه با الگوی نقطه تغییر با داده های دارای روند می شود. وجود این روندها در خصوص اثر آن بر تغییر توزیع های مجانبی در آزمون های نقطه تغییر، امری شناخته شده است. از همه مهم تر، توزیع برآوردهای نقطه تغییر یا ساختار فواصل اطمینان در این حالت مدنظر قرار نمی گیرد. تفاوت عمده دیگر میان این دو در فرآیند تصادفی $R_n(\gamma) = \sum_{i=1}^n x_i e_i \{q_i \leq \gamma\}$ است. این تفاوت ممکن است که جزئی به نظر آید، اما نیازمند استفاده از یک مجموعه ابزارهای مجانبی متفاوت است (هانسن، ۲۰۰۰؛ عبدی سیدکلایی، ۱۳۹۵).

بای و پرون^۱ (۲۰۰۳)، برای تعیین تعداد بهینه آستانه ها (m)، یک رویکرد ترکیبی از آزمون های آماری دنباله ای و معیارهای اطلاعاتی را پیشنهاد می کنند:

¹ Bai & Perron

آزمون SupF^1 : این آزمون وجود حداقل یک آستانه را بررسی می‌کند. آماره SupF به عنوان بیشینه‌ی آماره‌های F محاسبه شده برای تمام مقادیر آستانه ممکن تعریف می‌شود. مقادیر بحرانی این آماره از طریق شبیه‌سازی مونت کارلو یا بوت استرپ استخراج می‌گردد.

پس از تخمین نقاط آستانه، بررسی معناداری آماری تغییرات پارامترها بین رژیم‌ها ضروری است. بای و پرون (۲۰۰۳)، دو ابزار اصلی را معرفی می‌کنند:

۱. آزمون دوبل ماکزیمم (UDmax^2 و WDmax^3): این آزمون‌ها برای تعیین حداکثر تعداد آستانه‌های مجاز در مدل طراحی شده‌اند و از طریق مقایسه آماره‌های تجربی با توزیع‌های نظری، قابلیت اطمینان مدل را افزایش می‌دهند.

۲. روش بوت استرپ: برای تخمین توزیع نمونه‌گیری آماره‌های آزمون و محاسبه پی-مقدار ($p\text{-value}$)، از روش بوت استرپ استفاده می‌شود. این رویکرد به ویژه در حضور داده‌های ناهمگن یا همبسته، نتایج Robust ارائه می‌دهد.

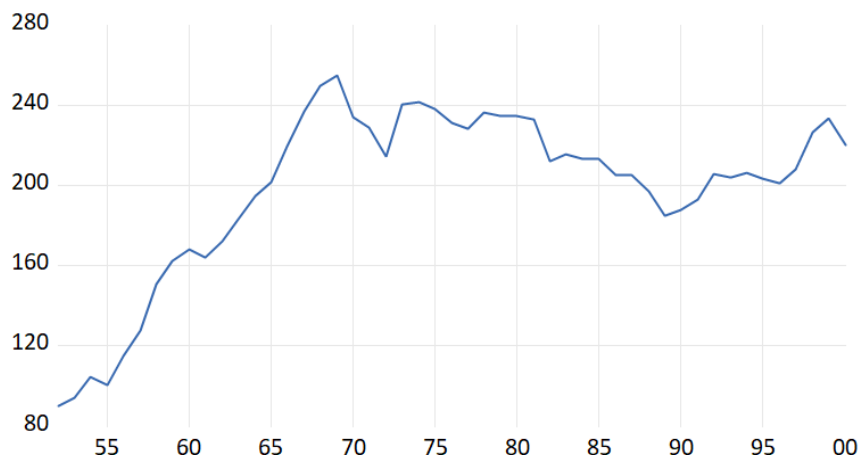
۴. یافته‌های پژوهش

۴-۱. معرفی متغیرها و آزمون ریشه واحد

¹ Supremum F Test (SupF)

² Unweighted Double Maximum Test (UDmax)

³ Weighted Double Maximum Test (WDmax)

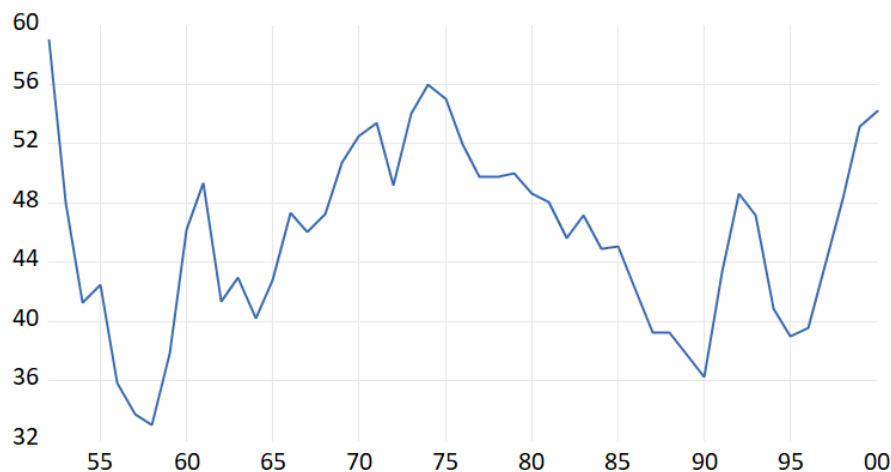


نمودار (۱): شدت مصرف انرژی

منبع: ترازنامه‌های انرژی

از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۶۵، شدت مصرف انرژی به دلیل سیاست‌های صنعتی شتابان، قیمت‌های پایین انرژی و استفاده از فن‌آوری‌های قدیمی به سرعت افزایش یافت. پس از آن، از ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵، تحت تأثیر جنگ ایران و عراق، تغییرات سیاست‌های اقتصادی و پیشرفت‌های محدود در فناوری، شدت مصرف انرژی وارد فاز تثبیت و نوسان شد. از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، شدت مصرف انرژی به‌طور تدریجی کاهش یافت، اما این کاهش جزئی بود و مصرف انرژی همچنان بالا باقی ماند. از ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰، شدت مصرف انرژی مجدد افزایش یافت که ناشی از رکود اقتصادی، محدودیت فناوری به دلیل تحریم‌ها و قیمت پایین انرژی بود. این امر نشان‌دهنده چالش‌های جدی در بهره‌وری انرژی در ایران است.

به طور کلی، این نمودار نشان می‌دهد که شدت مصرف انرژی در ایران تحت تأثیر سیاست‌های توسعه صنعتی، قیمت‌گذاری انرژی، تحریم‌ها و ساختار وابسته به نفت، نوسانات قابل توجهی داشته و این عوامل باعث بالا ماندن مصرف انرژی و چالش‌های مدیریت آن شده است.



نمودار (۲): ساختار اقتصاد (صنعتی شدن)

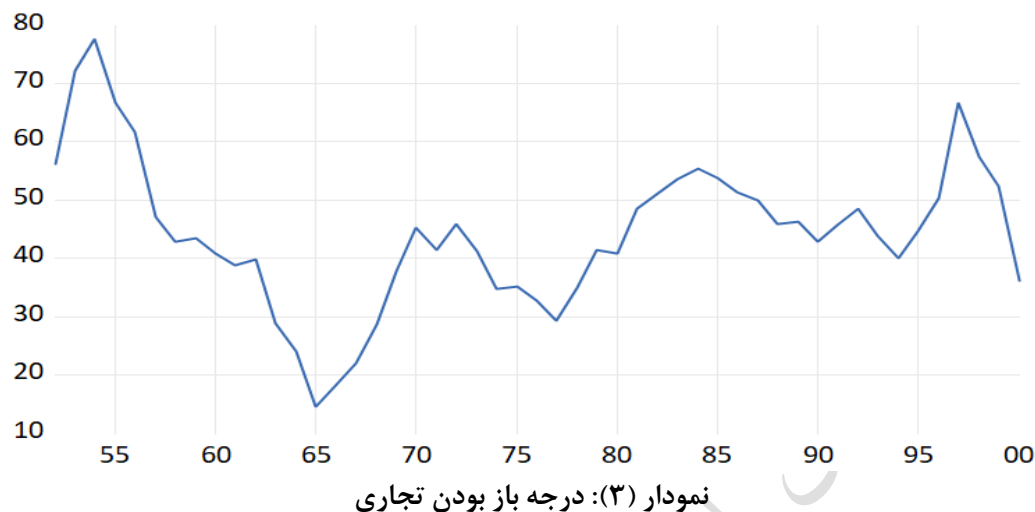
منبع: بانک جهانی

در سال ۱۳۵۲، سهم بخش صنعت در اقتصاد ایران به دلیل سیاست‌های توسعه صنعتی قبل از انقلاب در سطح بالایی قرار داشت، اما پس از آن، تا سال ۱۳۵۵ کاهش چشمگیری را تجربه کرد که ناشی از ناپایداری‌های سیاسی و اقتصادی و تأثیر انقلاب اسلامی بود.

پس از کاهش سهم بخش صنعت، این سهم در میانه دهه ۱۳۷۰ به بالاترین سطح خود رسید که ناشی از تلاش‌های دولت برای توسعه صنعتی و خودکفایی پس از جنگ بود، اما پس از آن، تا سال ۱۳۹۰ به دلیل ناکارآمدی صنایع دولتی، کمبود سرمایه‌گذاری در نوآوری و تأثیر تحریم‌ها و ورود کالاهای خارجی روند نزولی تدریجی را تجربه کرد.

از حوالی سال ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۴۰۰، سهم صنعت در اقتصاد ایران به دلیل تلاش‌های دولت برای حمایت از صنایع داخلی و افزایش صادرات غیرنفتی افزایش نسبی یافت، اما این افزایش در شرایطی رخ داد که اقتصاد با چالش‌های ساختاری و تحریمی و فعالیت صنایع با ظرفیت کمتر مواجه بود.

نمودار نشان می‌دهد که سهم بخش صنعت در اقتصاد ایران در طول دوره مورد بررسی نوسانات قابل توجهی داشته است که ناشی از تغییرات سیاست‌های توسعه صنعتی و تأثیر عوامل سیاسی، جنگ، تحریم‌ها و وابستگی به درآمدهای نفتی و سرمایه‌گذاری‌های دولتی است، که مانع از افزایش پایدار سهم صنعت شده است.



منبع: بانک جهانی

در سال ۱۳۵۲، درجه باز بودن تجاری ایران به دلیل وابستگی به صادرات نفت و واردات کالاهای مصرفی بالا بود، اما پس از آن، تا سال ۱۳۶۵ کاهش شدیدی در این شاخص مشاهده شد که ناشی از تحولات سیاسی، اجتماعی، جنگ تحمیلی و تغییرات در سیاست‌های اقتصادی بود. در این دوره، به دلیل شرایط جنگ و تحریم‌ها، ارتباط تجاری ایران با سایر کشورها کاهش یافت.

پس از این دوره، درجه باز بودن تجاری ایران در دهه ۱۳۷۰ و اوایل دهه ۱۳۸۰ با نوساناتی رو به افزایش مواجه شد که ناشی از سیاست‌های توسعه اقتصادی و بهبود روابط با سایر کشورها بود، اما از اواسط دهه ۱۳۸۰ تا اواسط دهه ۱۳۹۰، روند نزولی در این شاخص مشاهده شد که به دلیل سیاست‌های جایگزینی واردات، عدم تنوع صادرات، کاهش قیمت نفت و تشدید تحریم‌ها بود.

در سال‌های پایانی دوره (از اواسط دهه ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰)، درجه باز بودن تجاری ایران دوباره افزایش یافت که ممکن است ناشی از تلاش برای دور زدن تحریم‌ها، افزایش صادرات غیرنفتی و تغییرات در سیاست‌های ارزی باشد، اما این افزایش در شرایطی رخ داد که اقتصاد ایران با چالش‌های ساختاری و تحریمی مواجه بود.

به طور کلی، این نمودار نشان می‌دهد که درجه باز بودن تجاری ایران تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله تحولات سیاسی، جنگ، تحریم‌ها، سیاست‌های اقتصادی و قیمت نفت، نوسانات قابل توجهی را تجربه کرده است. ساختار اقتصاد ایران که به شدت وابسته به صادرات نفت و واردات کالاهای صنعتی و مصرفی است،

باعث شده تا درجه باز بودن تجاری تحت تاثیر این عوامل، به شدت متغیر باشد. نوسانات این شاخص در طول دوره مورد بررسی، بیانگر چالش‌های اقتصاد ایران در ادغام با اقتصاد جهانی و تأثیر پذیری بالای آن از رویدادهای داخلی و بین‌المللی است.

با توجه به لزوم پایا بودن سری‌های زمانی در تحلیل‌های اقتصادسنجی، در بخش حاضر این مهم برای متغیرهای پژوهش (در حالت لگاریتمی) با استفاده از آزمون دیکی – فولر تعمیم‌یافته^۱ در حالت سطح و با عرض از مبدأ و بدون روند مورد بررسی قرار گرفت که خلاصه آن در جدول شماره (۳) ذکر شده است.

جدول (۱): نتیجه آزمون دیکی – فولر تعمیم یافته^۲ برای بررسی پایایی

متغیر	آماره آزمون	مقدار بحرانی	سطح احتمال	نتیجه
شدت مصرف انرژی	-۴/۰۵	-۲/۹۲	۰/۰۰	پایا
ساختار اقتصاد	-۲/۹۴	-۲/۹۲	۰/۰۴	پایا
درجه باز بودن تجاری	-۳/۶۳	-۲/۹۲	۰/۰۰	پایا

منبع: یافته‌های پژوهش

طبق نتایج ارائه شده در جدول شماره (۳)، با توجه به این‌که برای تمام متغیرها آماره آزمون از مقدار بحرانی بزرگ‌تر است، متغیرهای استفاده شده در حالت سطح پایا هستند. بنابراین، نیازی به بررسی پایایی در تفاضل مرتبه اول و یا بررسی هم‌جمعی میان متغیرها وجود ندارد.

۴-۲. برآورد الگو

این پژوهش به بررسی اثرات غیرخطی ساختار اقتصاد و درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی در اقتصاد ایران با استفاده از یک مدل اقتصادسنجی آستانه‌ای پرداخته است. در این مدل، شدت مصرف انرژی (LEI) به عنوان متغیر وابسته و ساختار اقتصاد (LES) و درجه باز بودن تجاری (LTO) به عنوان متغیرهای توضیحی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین، برای کنترل اثرات پسماندی در مصرف انرژی، از یک متغیر تاخیری از شدت مصرف انرژی ((LEI(-1)) استفاده شده است. تمامی متغیرها به منظور کاهش

^۱ Aaugmented Dickey–Fuller test (ADF)

^۲ در حالت سطح، مشتمل بر عرض از مبدأ و بدون روند

اثرات ناهمسانی و همچنین تفسیر آسان تر ضرایب، در فرم لگاریتمی وارد مدل شده‌اند. دوره زمانی مورد بررسی شامل سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۴۰۰ می‌باشد.^۱

الگو با حداکثر یک آستانه و در نظر گرفتن شدت مصرف انرژی (LEI) به عنوان متغیر آستانه برآورد شد. به منظور تعیین آستانه، متغیر انتقال (شدت مصرف انرژی) از کم‌ترین مقدار تا بیش‌ترین آن مرتب شد و ۱۵٪ درصد از داده‌های ابتدا و انتها حذف شدند. برای برآورد آستانه از رویکرد بای و پرون (۲۰۰۳) استفاده شد که خلاصه آن در جدول شماره (۲) گزارش شده است.

جدول (۲): آزمون تشخیص آستانه

آزمون آستانه	آماره‌ی آزمون	مقدار بحرانی	مقدار آستانه
۰ آستانه در برابر ۱ آستانه	۲۵/۷۵	۱۶/۱۹	۲/۲۷*

ملاحظات: * نشان‌دهنده‌ی معنای دار بودن مقدار آستانه در سطح ۵٪ است.

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج نشان داد مقدار آستانه برآورد شده برابر با ۲/۲۷ است. مقدار برآوردی معادل با ۱۸۸ درصد می‌باشد. با توجه به این‌که آزمون بای و پرون وجود الگوی غیرخطی را تأیید کردند، الگوی تحقیق برآورد شد که نتایج آن به طور خلاصه در جدول شماره (۳) ذکر شده است.

جدول (۳): نتیجه برآورد الگو

رژیم	نام متغیر	ضریب	آماره t	سطح احتمال
کمتر از آستانه شدت مصرف انرژی (۱۸۸٪)	LEI (-1)	۰/۶۹	۸/۳۴	۰/۰۰
	LES	-۰/۲۴	-۲/۶۶	۰/۰۱
	LTO	-۰/۲۲	-۲/۹۲	۰/۰۰
	عرض از مبدأ	۱/۴۳	۴/۷۸	۰/۰۰
بیش‌تر از آستانه شدت مصرف انرژی (۱۸۸٪)	LEI (-1)	۰/۵۲	۴/۶۵	۰/۰۰
	LES	۰/۲۵	۲/۹۴	۰/۰۱
	LTO	-۰/۰۳	-۱/۷۴	۰/۰۹
	عرض از مبدأ	۰/۷۵	۴/۱۱	۰/۰۰
R ² : 0.98 Adjusted R ² : 0.97 F-statistic(Prob): 254.44(0.00) Durbin-Watson stat: 1.99				

^۱ برآوردهای اقتصادسنجی با استفاده از نرم افزار EViews انجام شده است.

Normality test: Jarque-Bera (Prob): 0.15(0.93)
Serial Correlation LM Test: Breusch-Godfrey (Prob): 0.53(0.95)
Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey (Prob): 1.23(0.31)

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس مقدار آستانه برآورد شده، داده‌ها به دو رژیم تقسیم شده‌اند. در رژیم اول، که شامل ۱۲ مشاهده با شدت مصرف انرژی کمتر از ۲/۲۷ (۱۸۸ درصد) است، ضریب متغیر تاخیری شدت مصرف انرژی $LEI(-)$ مثبت و معنادار بوده (۰.۶۹۳)، که نشان‌دهنده اثر مثبت و معنی‌دار شدت مصرف انرژی در دوره‌های قبل بر شدت مصرف انرژی فعلی است. ضریب متغیر ساختار اقتصاد (LES) در این رژیم، منفی و معنادار بوده (۰.۲۳۸-)، که دلالت بر این دارد که افزایش ساختار اقتصاد (صنعتی شدن) در این سطح از شدت مصرف انرژی، با کاهش شدت مصرف انرژی همراه است. هم‌چنین، ضریب متغیر درجه باز بودن تجاری (LTO) نیز در این رژیم، منفی و معنادار است (۰.۲۲۲-)، که نشان می‌دهد افزایش درجه باز بودن تجاری در این سطح از شدت مصرف انرژی، موجب کاهش شدت مصرف انرژی می‌شود.

در رژیم دوم، که شامل ۳۶ مشاهده با شدت مصرف انرژی بیشتر یا مساوی ۲/۲۷ است، ضریب متغیر تاخیری شدت مصرف انرژی $LEI(-1)$ هم‌چنان مثبت و معنادار بوده (۰.۵۲۲)، که نشان‌دهنده اثر پسماند مصرف انرژی در این سطح است. در این رژیم، ضریب متغیر ساختار اقتصاد (LES) مثبت و معنادار بوده (۰.۲۵۴)، که نشان می‌دهد با افزایش شدت مصرف انرژی، اثر ساختار اقتصاد بر شدت مصرف انرژی، تغییر جهت داده و به سمت مثبت متمایل شده است. این بدان معناست که صنعتی شدن در این سطح، منجر به افزایش شدت مصرف انرژی شده است. در مقابل، ضریب متغیر درجه باز بودن تجاری (LTO) در این رژیم، دیگر معنادار نیست (۰.۰۳۵-)، که دلالت بر این دارد که در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، درجه باز بودن تجاری، اثر معنی‌داری بر شدت مصرف انرژی ندارد.

آماره‌های کلی مدل، نشان می‌دهد که مدل از برازش و دقت مناسبی برخوردار است. ضریب تعیین برابر با ۰/۹۸ و ضریب تعیین تعدیل شده برابر با ۰/۹۷ است. آماره فیشر برابر با ۲۵۴/۴۴ بوده و از نظر آماری در سطح ۰/۰۱ معنادار است. هم‌چنین، آماره دوربین واتسون برابر با ۱/۹۹ است که نشان می‌دهد مدل از نظر خود همبستگی مرتبه اول مشکلی ندارد. آزمون‌های تشخیصی نیز، نرمال بودن جزء اخلال، عدم ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی سریالی آن را تأیید می‌کنند. به طور خلاصه، نتایج حاصل از این تخمین نشان می‌دهد که رابطه بین متغیرهای ساختار اقتصاد و درجه باز بودن تجاری با شدت مصرف انرژی، یک رابطه غیرخطی است و بسته به سطح شدت مصرف انرژی، این رابطه تغییر می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

مصرف انرژی و کارایی آن، از مسائل اساسی اقتصادهای در حال توسعه است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات ساختار اقتصاد و درجه باز بودن تجاری بر شدت مصرف انرژی در اقتصاد ایران، رویکردی نوآورانه را در پیش گرفته است. به جای تحلیل های خطی مرسوم، از مدل اقتصادسنجی آستانه‌ای استفاده شده تا مشخص شود چگونه سطوح مختلف شدت مصرف انرژی، بر الگوهای اثرگذاری متغیرهای کلان اقتصادی تاثیر می‌گذارند. این رویکرد، امکان بررسی دقیق تر روابط غیرخطی بین متغیرها را فراهم می‌سازد. یافته‌های این پژوهش، بر مبنای داده های سری زمانی اقتصاد ایران در بازه زمانی ۱۳۵۲ تا ۱۴۰۰، نشان می‌دهد که در مقادیر کمتر از آستانه شدت مصرف انرژی، تأثیر مثبت و معنی‌دار مصرف انرژی در دوره‌های قبل بر شدت مصرف انرژی در دوره فعلی وجود دارد. این امر نشان‌دهنده بهبود بهره‌وری انرژی در سطوح پایین مصرف است و به دلیل سازگاری‌های اقتصادی و رفتارهای مصرف‌کننده، اثر پسماند مصرف انرژی در دوره قبل به کاهش بیشتر مصرف در دوره جاری کمک می‌کند. در دهه‌های ابتدایی بررسی، اقتصاد ایران به بخش کشاورزی وابسته بود و صنایع کم‌مصرف‌تری داشت، که این وابستگی به مصرف انرژی در دوره قبل با پسماند مثبت همراه بوده است. ضریب ساختار اقتصاد منفی و معنی‌دار نشان می‌دهد که در سطوح پایین شدت مصرف انرژی، تغییر به سمت صنعتی شدن موجب کاهش شدت مصرف انرژی می‌شود. انتقال نیروی کار از کشاورزی به صنعت و تمرکز بر صنایع سبک‌تر با بهره‌وری بیشتر، به افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی کمک می‌کند. هرچند افزایش تولید ممکن است تقاضای انرژی را بالا ببرد، اما اثرات مثبت بهره‌وری غالب است. در دهه‌های اولیه، برنامه‌های توسعه صنعتی و سیاست‌های تشویقی برای فناوری‌های کم‌مصرف، به کاهش شدت مصرف انرژی کمک کرده‌اند. در این رابطه لیدل^۱ (۲۰۱۳) نیز معتقد است که تمرکز بر خدمات و صنایع دانش‌بنیان در کشورهای OECD، کاهش شدت انرژی را تسریع می‌کند. همچنین مطالعه کان و همکاران^۲ (۲۰۲۳)، نشان می‌دهد که افزایش پیچیدگی اقتصادی می‌تواند منجر به کاهش شدت مصرف انرژی شود، زیرا اقتصادهای پیچیده‌تر تمایل به استفاده بهینه‌تر از منابع انرژی دارند. ضریب درجه باز بودن تجاری منفی و معنی‌دار نشان می‌دهد که در سطوح پایین شدت مصرف انرژی، افزایش باز بودن تجاری باعث کاهش شدت مصرف انرژی شده است. این امر به دلیل دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و رقابت ناشی از تجارت می‌باشد که شرکت‌ها را به استفاده از فناوری‌های کارآمدتر تشویق می‌کند. همچنین، تخصص در کالاهای با شدت مصرف انرژی پایین و بهبود

¹ Liddle

² Can et al.

بهره‌وری انرژی ناشی از افزایش تولید، به کاهش شدت مصرف انرژی کمک می‌کند. در این زمینه آلمولالی و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، تأکید کردند که ترکیب باز بودن تجاری با سیاست‌های نظارتی قوی (مانند مالیات بر کربن) برای کاهش شدت انرژی ضروری است. همچنین زیدی و همکاران^۲ (۲۰۲۴) معتقدند جهانی‌شدن و شمول مالی می‌تواند تأثیر منفی بر شدت مصرف انرژی داشته باشند، به این معنی که افزایش این عوامل می‌تواند منجر به کاهش شدت مصرف انرژی شود. در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، ضریب با وقفه شدن مصرف انرژی مثبت و معنی‌دار است و نشان می‌دهد که مصرف بالای انرژی در دوره‌های قبل بر شدت مصرف انرژی در دوره فعلی تأثیر دارد. این وابستگی به مصرف انرژی به عنوان یک پدیده پسماندی عمل کرده و پس از دهه ۱۳۸۰، با افزایش درآمدهای نفتی و تحریم‌ها، اقتصاد ایران به شدت به مصرف انرژی وابسته شد. در این شرایط، صنایع انرژی‌بر و الگوهای مصرف خانوارها به سمت مصرف بیشتر انرژی گرایش پیدا کردند. ضریب ساختار اقتصاد در سطوح بالای شدت مصرف انرژی مثبت و معنی‌دار است و نشان می‌دهد که تغییر به سمت صنعتی شدن منجر به افزایش مصرف انرژی شده است. در این شرایط، اقتصاد به سمت صنایع سنگین و انرژی‌بر متمایل شده و تمرکز بر افزایش تولید، بهبود بهره‌وری را تحت تأثیر قرار داده است. پس از دهه ۱۳۸۰، افزایش درآمدهای نفتی و سیاست‌های حمایتی دولت از صنایع انرژی‌بر مانند فولاد و پتروشیمی، موجب افزایش شدت مصرف انرژی در اقتصاد ایران شده است. در مورد ضریب درجه باز بودن تجاری نتایج نشان می‌دهد که در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، درجه باز بودن تجاری تأثیر معنی‌داری بر شدت مصرف انرژی ندارد. این امر به دلیل خنثی شدن اثرات مثبت و منفی باز بودن تجاری است؛ از یک سو، واردات و صادرات کالاهای انرژی‌بر افزایش می‌یابد و از سوی دیگر، ضعف ساختارهای نهادی و نظارتی مانع از انتقال مؤثر فناوری‌های کم‌مصرف می‌شود. همچنین، سیاست‌های تجاری متضاد، مانند تسهیل واردات کالاهای واسطه‌ای و صادرات کالاهای انرژی‌بر، اثرات متناقضی بر شدت مصرف انرژی دارند. در اقتصاد ایران، پس از تحریم‌ها و محدودیت‌های تجارت بین‌المللی، وابستگی به صادرات کالاهای انرژی‌بر ادامه یافت و به همین دلیل، باز بودن تجاری نتوانسته است تأثیر قابل توجهی بر شدت مصرف انرژی داشته باشد.

به طور خلاصه، نتایج مدل اقتصادسنجی آستانه‌ای، با مبانی نظری جامع ارائه شده و همچنین با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقتصاد ایران سازگار است. در راستای تحقیقات پیشین همچون سو و همکاران (۲۰۲۲)، در سطوح پایین شدت مصرف انرژی، ساختار اقتصاد و باز بودن تجاری هر دو در جهت کاهش شدت

¹ Al-Mulali et al.

² Zaidi

مصرف انرژی عمل کرده‌اند. در این دوره، مکانیزم های انتقال فناوری و رقابت، به خوبی عمل کرده اند و بخش های اقتصادی، ساختارهای کم مصرفی را ایجاد کرده اند. اما در سطوح بالای شدت مصرف انرژی، تغییر ساختار اقتصاد به سمت صنایع انرژی بر، موجب افزایش شدت مصرف انرژی شده و اثرات مثبت باز بودن تجاری نیز به دلیل ساختارهای نهادی ضعیف، نتوانسته است خود را نشان دهد. این نتایج نشان می‌دهد که سیاست‌گذاران باید به این نکته توجه داشته باشند که اثرات سیاست‌ها و متغیرهای اقتصادی، بسته به سطح شدت مصرف انرژی، می‌تواند متفاوت باشد و برای دستیابی به اهداف کاهش شدت مصرف انرژی، باید از سیاست های مناسب و متناسب با هر سطح از شدت مصرف انرژی استفاده نمایند. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که پدیده پسماند مصرف انرژی، در هر دو سطح شدت مصرف انرژی، اثر مثبت و معنی داری بر مصرف انرژی کنونی داشته است. به عبارتی، الگوهای مصرف انرژی در دوره های گذشته، بر الگوهای مصرف دوره جاری تاثیرگذار بوده اند. این نتایج، بیانگر این واقعیت است که رابطه بین متغیرهای کلان اقتصادی و شدت مصرف انرژی، یک رابطه ساده و خطی نیست، بلکه غیرخطی است و بسته به سطح شدت مصرف انرژی، متفاوت عمل می‌کند. بر این اساس، سیاست‌گذاران باید با در نظر گرفتن این روابط غیرخطی و همچنین اثر پسماند، رویکردی جامع و هوشمندانه را در سیاست‌گذاری اتخاذ کنند. اصلاح ساختار صنعتی به سمت صنایع کم مصرف تر، بهره‌گیری از فرصت‌های تجارت بین‌المللی برای انتقال فناوری‌های نوین، اصلاح سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی، و تقویت نهادهای نظارتی، از جمله سیاست‌های پیشنهادی این مطالعه هستند. این تحقیق، با ارائه شواهدی معتبر از اثرات غیرخطی متغیرها و پدیده پسماند، می‌تواند راهگشای سیاست‌های کارآمدتر برای کاهش شدت مصرف انرژی و دستیابی به توسعه پایدار در اقتصاد ایران باشد.

تأمین مالی: نویسندگان اعلام کردند که هیچ حمایت مالی برای این پژوهش وجود ندارد.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان: نویسندگان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

تشکر و قدردانی: نویسندگان از مسئولین و داوران مجله تشکر می‌کنند.

References

- Abdi Seyyed Kolaee, M. (2015). *The test of exchange rate transition to inflation in Iran: Application of the threshold regression method* [Doctoral dissertation, University of Mazandaran]. (In Persian)
- Aboagye, S., & Nketiah-Amponsah, E. (2016). The implication of economic growth, industrialization and urbanization on energy intensity in Sub-Saharan Africa. *Journal of Applied Economics and Business Research*, 6(4), 297–311.
- Alkhateeb, T. T. Y., & Mahmood, H. (2019). Energy consumption and trade openness nexus in Egypt: Asymmetry analysis. *Energies*, 12(10), Article 2018. <https://doi.org/10.3390/en12102018>
- Al-Mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y., & Sab, C. N. B. C. (2013). Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.006>
- Alvarado, R., Ortiz, C., Cuesta, L., & Tillaguango, B. (2023). Spillovers impact of institutional and economic factors in energy intensity. *Sustainable Development*, 31(3), 1805–1823. <https://doi.org/10.1002/sd.2470>
- Álvarez, C., Marrero, G. A., & Ramos-Real, F. (2015, October 25-28). *Energy: Intensity, technology and institutions* [Paper presentation]. 33rd USAEE/IAEE North American Conference, Pittsburgh, PA, United States.
- Anders, W. (2011). *Econometrics of time series with an applied approach* (M. Sadeghi & S. Shawalpour, Trans.). Tehran: Imam Sadegh University Press. (In Persian)
- Azhgaliyeva, D., Liu, Y., & Liddle, B. (2020). An empirical analysis of energy intensity and the role of policy instruments. *Energy Policy*, 145, Article 111773. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111773>
- Azizi Norouzabadi E., & Salman Bishak M. (2024). Threshold effect of industrialization on the relationship between export diversity and energy intensity in Iran. *Quarterly Energy Economics Review*, 20(83), 1-31. <http://iiesj.ir/article-1-1634-en.html> (In Persian)
- Bai, J., & Perron, P. (2003). Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of Applied Econometrics*, 18(1), 1–22. <https://doi.org/10.1002/jae.659>
- Bashir, M. A., Sheng, B., Doğan, B., Sarwar, S., & Shahzad, U. (2020). Export product diversification and energy efficiency: Empirical evidence from OECD countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 55, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.sced.2020.08.005>
- Can, M., Balsalobre-Lorente, D., Adedoyin, F. F., & Mercan, M. (2025). The impact of trade openness, export concentration and economic complexity on energy demand among G7

- countries. *Energy* & *Environment*, 36(2), 638–659. <https://doi.org/10.1177/0958305X231189906>
- Cao, L. (2017). The dynamics of structural and energy intensity change. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017, Article 6308073. <https://doi.org/10.1155/2017/6308073>
- Chakraborty, S. K., & Mazzanti, M. (2020). Energy intensity and green energy innovation: Checking heterogeneous country effects in the OECD. *Structural Change and Economic Dynamics*, 52, 328–343. <https://doi.org/10.1016/j.sced.2019.11.003>
- Chen, S., Zhang, H., & Wang, S. (2022). Trade openness, economic growth, and energy intensity in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, Article 121608. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121608>
- Chima, C. M. (2007). Intensity of energy use in the USA: 1948-2003. *Journal of Business & Economics Research (JBER)*, 5(11), 41-50. <https://doi.org/10.19030/jber.v5i11.2575>
- Chu, L. K., & Le, N. T. M. (2022). Environmental quality and the role of economic policy uncertainty, economic complexity, renewable energy, and energy intensity: The case of G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 2866–2882. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15919-5>
- Dahlqvist, A., & Patrik, S. Å. (2019). Industrial energy use, management practices and price signals: The case of Swedish process industry. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 30–45. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7548>
- Delangizan S., Rezaei E., & Baharipour S. (2016). Impact of industrial structure on the energy intensity of manufacturing industries in Iran. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 2(2). (In Persian)
- Dogan, B., Madaleno, M., Tiwari, A. K., & Hammoudeh, S. (2020). Impacts of export quality on environmental degradation: Does income matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 13735–13772. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07934-5>
- Gorus, M. S., & Karagol, E. T. (2022). Reactions of energy intensity, energy efficiency, and activity indexes to income and energy price changes: The panel data evidence from OECD countries. *Energy*, 254, Article 124281. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124281>
- Guo, Q., Ding, C., Guo, T., & Liu, S. (2022). Dynamic effects and regional differences of industrialization and urbanization on China's energy intensity under the background of "dual carbon". *Sustainability*, 14(16), Article 9948. <https://doi.org/10.3390/su14169948>
- Haas, C., & Kempa, K. (2018). Directed technical change and energy intensity dynamics: Structural change vs. energy efficiency. *The Energy Journal*, 39(4), 127–151. <https://doi.org/10.5547/01956574.39.4.chaa>

- Hansen, B. E. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics*, 93(2), 345–368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00028-1)
- Hansen, B. E. (2000). Sample splitting and threshold estimation. *Econometrica*, 68(3), 575–603. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00124>
- Hijazi, S. A. (2016). *Study of the effect of urbanization population, frequency and degree of trade openness on energy consumption of developing countries*. Paper presented at the First Annual Conference of Management, Accounting and Economics of Iran. <https://civilica.com/doc/697284> (In Persian)
- Hofman, B., & Labar, K. (2007). *Structural change and energy use: Evidence from China's provinces* (World Bank China Working Paper Series, No. 6). World Bank.
- Hu, H., Li, X., Yang, F., & Islam, J. (2016). Total factor productivity and energy intensity: An empirical study of China's cement industry. *Emerging Markets Finance and Trade*, 52(6), 1405–1413. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2016.1150540>
- Hübler, M., & Glas, A. (2014). The energy-bias of north–south technology spillovers: A global, bilateral, bisectoral trade analysis. *Environmental and Resource Economics*, 58, 59–89. <https://doi.org/10.1007/s10640-013-9694-8>
- Ibekwe, K. I., Umoh, A. A., Nwokediegwu, Z. Q. S., Etukudoh, E. A., Ilojiannya, V. I., & Adefemi, A. (2024). Energy efficiency in industrial sectors: A review of technologies and policy measures. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(1), 169–184. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i1.737>
- Jeuland, M., Fetter, T. R., Li, Y., Pattanayak, S. K., Usmani, F., Bluffstone, R. A., ... & Toman, M. (2021). Is energy the golden thread? A systematic review of the impacts of modern and traditional energy use in low-and middle-income countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, Article 110406. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110406>
- Le, T. H. (2022). Trade openness, energy usage and environmental quality. *Frontiers in Energy Research*, 10, Article 1001205. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1001205>
- Li, Y. (2019). Prediction of energy consumption: Variable regression or time series? A case in China. *Energy Science & Engineering*, 7(6), 2510–2518. <https://doi.org/10.1002/ese3.461>
- Liddle, B. (2013). Urban density and climate change: A STIRPAT analysis using city-level data. *Journal of Transport Geography*, 28, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.10.005>
- Liu, C., Kong, X. L., & Gao, T. M. (2008). Empirical analysis of changes in China's industrial sector energy consumption intensity and influential factors. *Resources Science*, 30(9), 1290–1298.

- Mulder, P. (2015). International specialization, structural change and the evolution of manufacturing energy intensity in OECD countries. *The Energy Journal*, 36(3), 59–83. <https://doi.org/10.5547/01956574.36.3.pmul>
- Naeimi, F., Jahantigh, Y., & Varahrami, V. (2023). Investigating relationship between finance and energy consumption in Iran (with emphasis on industrialization and urbanization). *Urban Economics and Planning*, 4(2), 52–64. (In Persian)
- Naimoğlu, M., & Özbek, S. (2022). Do energy prices and industrialization affect energy intensity? The case of Turkey under structural breaks. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 275–294. <https://doi.org/10.33399/biibfad.1069782>
- Naimoglu, M., Kavaz, İ., & Simsek, A. I. (2024). Effects of foreign direct investment, economic integration, industrialization and economic growth on energy intensity: Case of India. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 8(1), 333–354. <https://doi.org/10.1007/s41685-023-00306-3>
- Nasreen, S., & Anwar, S. (2014). Causal relationship between trade openness, economic growth and energy consumption: A panel data analysis of Asian countries. *Energy Policy*, 69, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.009>
- Pan, X., Uddin, M. K., Han, C., & Pan, X. (2019). Dynamics of financial development, trade openness, technological innovation and energy intensity: Evidence from Bangladesh. *Energy*, 171, 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.029>
- Petrack, S. (2013). *Carbon efficiency, technology, and the role of innovation patterns: Evidence from German plant-level microdata* (Kiel Working Paper No. 1833). Kiel Institute for the World Economy.
- Qamruzzaman, M. (2022). Nexus between energy intensity, human capital development, trade and environmental quality in LIC, LMIC and UMIC: Evidence from GMM. *GSC Advanced Research and Reviews*, 13(2), 051–068. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2022.13.2.0276>
- Qamruzzaman, M. (2024). Urbanization, trade openness, and industrialization as a deterrent of clean energy consumption: Evidence from BRI nations. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 1561–1574. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.3.0809>
- Qiu, M., Weng, Y., Cao, J., Selin, N. E., & Karplus, V. J. (2020). Improving evaluation of energy policies with multiple goals: Comparing ex ante and ex post approaches. *Environmental Science & Technology*, 54(24), 15584–15593. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02780>
- Rahman, M. M., Khan, Z., Khan, S., & Tariq, M. (2023). How is energy intensity affected by industrialisation, trade openness and financial development? A dynamic analysis for the panel of newly industrialized countries. *Energy Strategy Reviews*, 49, Article 101182. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101182>

- Rajaguru, G., & Khan, S. U. (2021). Causality between energy consumption and economic growth in the presence of growth volatility: Multi-country evidence. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(10), Article 480. <https://doi.org/10.3390/jrfm14100480>
- Rajneesh. (2017). Do trade openness, structure of the economy and FDI affect energy intensity in India? A case for including energy intensity as a policy parameter. *The Indian Economic Journal*, 65(1-4), 172–192. <https://doi.org/10.1177/0019466218761941>
- Ratner, S., Berezin, A., & Sergi, B. S. (2022). Energy efficiency improvements under conditions of low energy prices: The evidence from Russian regions. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 17(1), Article 1966134. <https://doi.org/10.1080/15567249.2021.1966134>
- Rudenko, D., & Tanasov, G. (2022). The determinants of energy intensity in Indonesia. *International Journal of Emerging Markets*, 17(3), 832–857. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-08-2019-0668>
- Sadorsky, P. (2013). Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries? *Energy Economics*, 37, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.01.009>
- Sahoo, M., & Sethi, N. (2020). Impact of industrialization, urbanization, and financial development on energy consumption: Empirical evidence from India. *Journal of Public Affairs*, 20(3), Article e2089. <https://doi.org/10.1002/pa.2089>
- Saudi, M. H. M., Sinaga, O., Roespinoedji, D., & Ghani, E. K. (2019). The impact of technological innovation on energy intensity: Evidence from Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 11–17. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7419>
- Shi, X. (2005). *Energy prices and energy intensity in China: A structural decomposition analysis and econometric study* [Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology]. MIT Libraries. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/33557>
- Sinton, J. E., & Levine, M. D. (1994). Changing energy intensity in Chinese industry: The relatively importance of structural shift and intensity change. *Energy Policy*, 22(3), 239–255. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(94\)90153-9](https://doi.org/10.1016/0301-4215(94)90153-9)
- Stern, D. I. (2017). How accurate are energy intensity projections? *Climatic Change*, 143(3-4), 537–545. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2019-5>
- Su, M., Wang, Q., Li, R., & Wang, L. (2022). Per capita renewable energy consumption in 116 countries: The effects of urbanization, industrialization, GDP, aging, and trade openness. *Energy*, 254, Article 124289. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124289>
- Suslov, N. I., & Melnikova, E. M. (2019). Reducing energy intensity and institutional environment: A cross country analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(6), 283–295. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8232>

- Voigt, S., De Cian, E., Schymura, M., & Verdolini, E. (2014). Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement? *Energy Economics*, 41, 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.015>
- Wang, J., Wang, C., & Wan, X. (2021). Trade liberalization, energy-saving technological change and energy intensity: Some empirical evidence from China. *Contemporary Economic Policy*, 39(2), 365–376. <https://doi.org/10.1111/coep.12503>
- Wen, H., Jiang, M., & Zheng, S. (2024). Impact of information and communication technologies on corporate energy intensity: Evidence from cross-country micro data. *Journal of Environmental Planning and Management*, 67(4), 897–918. <https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2155830>
- Yu, S., Liu, J., Hu, X., & Tian, P. (2022). Does development of renewable energy reduce energy intensity? Evidence from 82 countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, Article 121254. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121254>
- Yu, S., Zheng, S., Ba, G., & Wei, Y. M. (2016). Can China realise its energy-savings goal by adjusting its industrial structure? *Economic Systems Research*, 28(2), 273–293. <https://doi.org/10.1080/09535314.2016.1171280>
- Zaidi, S. A. H., Ashraf, R. U., & Hassan, T. (2024). Effects of globalization and financial inclusion on energy intensity: The case of emerging economies. *Energy*, 306, Article 132380. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132380>
- Zhang, M., Zhang, S., Lee, C. C., & Zhou, D. (2021). Effects of trade openness on renewable energy consumption in OECD countries: New insights from panel smooth transition regression modelling. *Energy Economics*, 104, Article 105649. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105649>
- Zhao, Y., & Wang, S. (2015). The relationship between urbanization, economic growth and energy consumption in China: An econometric perspective analysis. *Sustainability*, 7(5), 5609–5627. <https://doi.org/10.3390/su7055609>
- Zhu, B., Zhang, M., Zhou, Y., Wang, P., Sheng, J., He, K., ... & Xie, R. (2019). Exploring the effect of industrial structure adjustment on interprovincial green development efficiency in China: A novel integrated approach. *Energy Policy*, 134, Article 110946. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110946>