

ORIGINAL ARTICLE**Investigation of the Threshold Effect of Energy Security on Industrialization in Iran****Fereshteh Mohamadian¹, Walaa Salim Hasan², Mohammed Ali Kadhim³**

1. Asistant Professor, Department of Economics, Faculty of Literature and Humanities, University of Ilam, Ilam, Iran.
2. Master's student in Economics, Faculty of Literature and Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.
3. Master's student in Economics, Faculty of Literature and Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.

Correspondence:
Fereshteh Mohamadian
Email: F.Mohamadian@ilam.ac.ir

Received: 12 Oct 2025
Revised: 1 Nov 2025
Accepted: 15 Nov 2025

How to cite:

Mohamadian, F., Salim Hasan, W. & Ali Kadhim, M. (2025). Investigation of the Threshold Effect of Energy Security on Industrialization in Iran. *Industrial Economics Researches*, 9(32), 46-62. (DOI: 10.30473/jier.2026.76102.1520)

ABSTRACT

Energy security refers to a country's ability to ensure a stable, reliable, and affordable supply of energy for its economy and society without facing major disruptions. This study examines the impact of energy security on industrialization in Iran using annual data from 1984 to 2022. An energy security index, based on five components—availability, acceptability, developability, accessibility, and affordability—was constructed using the Min-Max method. The Threshold Autoregressive model was then applied to investigate the effect of energy security on industrial value added. The results reveal two distinct energy security regimes (below and above the threshold of 51.57) in Iran's economy, where the influence of variables on industrial value added follows different patterns in each regime. Fixed capital, foreign direct investment, and trade have a positive and significant impact on industrial value added in both regimes. Moreover, energy security itself has a significant effect in both regimes; however, after surpassing the threshold, its effect shifts from being a growth-limiting factor to a growth-promoting one. These findings suggest that enhancing energy security not only increases added industrial value but also contributes to sustainable industrial growth by improving capital efficiency, foreign investment, trade, and industrial productivity.

KEYWORDS

Energy security, Industrial value added, Threshold Autoregressive model, Iran.

JEL Classification: Q43, L60, C22, O14.



«مقاله پژوهشی»

بررسی تأثیر آستانه‌ای امنیت انرژی بر صنعتی شدن در ایران

فرشته محمدیان^۱ ID و لا سالم حسن^۲ محمد علی کاظم^۳

چکیده

امنیت انرژی به توانایی یک کشور در تأمین پایدار، مطمئن و مقرون به صرفه انرژی برای اقتصاد و جامعه بدون مواجهه با اختلالات جدی اطلاق می‌شود. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های سالانه ایران در دوره ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۱، شاخص امنیت انرژی بر اساس پنج مؤلفه شامل در دسترس بودن، مقبولیت، قابلیت توسعه، امکان تأمین و مقرون به صرفه بودن با روش Min-Max محاسبه شد و با به کارگیری روش خودرگرسیون آستانه‌ای، تأثیر امنیت انرژی بر صنعتی شدن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که دو رژیم متمایز امنیت انرژی (پایین تر و بالاتر از آستانه ۵۱/۵۷) برای اقتصاد ایران وجود دارد که اثرگذاری متغیرها بر ارزش افزوده بخش صنعت در هر رژیم از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کند. به طور خاص، سرمایه ثابت، سرمایه گذاری مستقیم خارجی و تجارت در هر دو رژیم اثر مثبت و معناداری بر ارزش افزوده بخش صنعت دارند. همچنین، امنیت انرژی خود در هر دو رژیم تأثیر معناداری دارد؛ با این تفاوت که پس از عبور از آستانه، اثر آن از حالت محدودکننده به محرک رشد صنعتی تغییر می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که ارتقای امنیت انرژی نه تنها به طور مستقیم ارزش افزوده صنعتی را افزایش می‌دهد، بلکه از طریق تقویت کارایی سرمایه، سرمایه گذاری خارجی، تجارت و بهره‌وری صنعتی نیز در پایداری رشد صنعتی نقش آفرینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی

امنیت انرژی، ارزش افزوده بخش صنعت، مدل خودرگرسیون آستانه‌ای، ایران.

طبقه‌بندی JEL: Q43، L60، C22، O14.

۱. استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

نویسنده مسئول:

فرشته محمدیان

رایانامه: F.Mohamadian@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۸/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴

استناد به این مقاله:

محمدیان، فرشته؛ حسن سالم، ولا و علی کاظم، محمد (۱۴۰۴). بررسی تأثیر آستانه‌ای امنیت انرژی بر صنعتی شدن در ایران، پژوهش‌های اقتصاد صنعتی، ۹ (۳۲)، ۴۶-۶۲

(DOI: 10.30473/jier.2026.76102.1520)



۱. مقدمه

صنعتی‌شدن یکی از شاخص‌های کلیدی رشد و توسعه اقتصادی مدرن است که نقش حیاتی در افزایش ظرفیت تولید، ایجاد اشتغال و ارتقای رقابت‌پذیری کشورها ایفا می‌کند (محبوب^۱ و همکاران، ۲۰۲۵؛ تامونو و ادومیکومو^۲، ۲۰۱۱). عملکرد بخش صنعت، ستون فقرات اقتصاد ملی و عامل مهم پایداری اقتصادی است (اوکچوکوو^۳ و همکاران، ۲۰۲۳؛ کینگدوم^۴ و همکاران، ۲۰۱۷)؛ که تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل اقتصادی و نهادی از جمله تشکیل سرمایه ثابت ناخالص، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تجارت و زیرساخت‌های حیاتی مانند انرژی قرار دارد (آرجون^۵ و همکاران، ۲۰۲۱؛ الشکری^۶، ۲۰۱۶). بررسی روند داده‌های ایران در بانک جهانی نشان می‌دهد که سهم بخش صنعت (شامل ساخت‌وساز) از تولید ناخالص داخلی از حدود ۳۴ درصد در سال ۱۹۸۴ به بیش از ۴۷ درصد در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته و سپس با نوساناتی همراه بوده است، به گونه‌ای که در سال ۲۰۲۲ این سهم به حدود ۴۰ درصد رسیده است. همزمان، سهم تجارت از تولید ناخالص داخلی از ۲۸ درصد در سال ۱۹۸۴ به بیش از ۵۱ درصد در سال ۲۰۲۲ رسیده است، که نشان‌دهنده ادغام فزاینده اقتصاد ایران با بازار جهانی و اهمیت روزافزون سرمایه‌گذاری و منابع انرژی خارجی است. جریان سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI) نیز با نوساناتی همراه بوده و از ۰/۰۳ درصد در سال ۱۹۸۴ به ۰/۳۸ درصد در سال ۲۰۲۲ رسیده است و در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ به بیش از ۲ درصد افزایش یافته است،

که نقش سرمایه‌گذاری خارجی در توسعه صنعتی کشور را برجسته می‌کند. رشد تشکیل سرمایه ثابت ناخالص نیز با نوسانات قابل توجهی همراه بوده و ظرفیت تولید صنعتی و توسعه زیرساخت‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. این روندها نشان می‌دهد که بخش صنعت ایران در طول چهار دهه گذشته، همگام با تحولات جهانی و تحولات اقتصادی داخلی، تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است؛ که در این میان انرژی نه تنها ورودی ضروری تولید صنعتی است، بلکه امنیت و پایداری آن مسیر صنعتی‌شدن را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌عنوان یکی از محرک‌های کلیدی توسعه صنعتی مطرح است (کینگدوم و همکاران، ۲۰۱۷).

ادبیات موجود عمدتاً به مصرف انرژی و تأمین برق به عنوان عوامل رشد صنعتی پرداخته و امنیت انرژی را به عنوان یک متغیر مستقل و چندبعدی به شکل دقیق مورد بررسی قرار نداده است (هو^۷ و همکاران، ۲۰۱۵؛ نقوی^۸ و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات پیشین بیشتر از رویکردهای خطی برای تحلیل رابطه امنیت انرژی و صنعتی‌شدن استفاده کرده‌اند و کمتر پژوهشی به بررسی اثرات غیرخطی و آستانه‌ای این رابطه پرداخته است. این در حالی است که شواهد نظری و تجربی نشان می‌دهد که اثر امنیت انرژی بر توسعه صنعتی می‌تواند غیرخطی باشد؛ به این معنا که در سطوح پایین امنیت انرژی (کمبود عرضه و دسترسی پایدار) می‌تواند به شدت مانع رشد صنعتی شود، در حالی که در سطوح بالاتر، اثر آن

^۵ Arjun^۶ Alshukri^۷ Hu^۸ Naqvi^۱ Mahbub^۲ Tamuno & Edoumiekumo^۳ Nwokoye^۴ Kingdom

اقتصادیانه^۴ (APEREC) تعریفی جامع تر ارائه داد که بر اساس آن، امنیت انرژی توانایی یک اقتصاد در تضمین عرضه پایدار انرژی با قیمت های پایدار و بدون اثر منفی بر عملکرد اقتصادی است. این مرکز چهار بُعد کلیدی برای امنیت انرژی شامل در دسترس بودن، امکان تأمین، مقرون به صرفه بودن و مقبولیت را معرفی کرد. بُعد در دسترس بودن به میزان خودکفایی و توان تولید انرژی اولیه در کشور اشاره دارد؛ بُعد امکان تأمین بیانگر قابلیت تأمین انرژی از منابع داخلی و خارجی است؛ بُعد مقرون به صرفه بودن به توانایی مصرف کنندگان در تهیه انرژی با قیمت قابل قبول مرتبط می شود؛ و بُعد مقبولیت، میزان سازگاری نظام انرژی با معیارهای زیست محیطی و اجتماعی و بهره وری انرژی را در بر می گیرد. در همین راستا، توسعه قابلیت امنیت انرژی یکی از مؤلفه های اساسی پایداری انرژی محسوب می شود، زیرا عمده تاً بر مدیریت اثرات زیست محیطی تولید و مصرف انرژی و کاهش آثار منفی آن بر محیط زیست تمرکز دارد (فانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

امروزه امنیت انرژی محدود به سوخت های فسیلی یا صرفاً جنبه های تولید و مصرف نیست، بلکه همه انواع منابع انرژی اعم از فسیلی، تجدیدپذیر و هسته ای را در بر می گیرد. در مطالعات مختلف شاخص های امنیت انرژی طیف وسیعی از ابعاد شامل در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، بهره وری، مقبولیت اجتماعی، توسعه فناوری و پایداری زیست محیطی را پوشش می دهند (سواکول و براون^۶، ۲۰۱۰؛ پرامبودیا و ناکانو^۷، ۲۰۱۲؛ یاو و چانگ^۸، ۲۰۱۴؛ سونگ و همکاران^۹،

ممکن است متفاوت یا کمتر باشد (پنگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). ضعف زیرساخت های انرژی نیز می تواند بهره وری صنعتی را محدود کرده و موجب استفاده ناکافی از منابع انسانی و مادی شود (اوکچوکوو و همکاران، ۲۰۲۳)، علاوه بر این، کشور را در معرض وابستگی بیشتر به منابع محدود مانند نفت قرار دهد و پایداری رشد اقتصادی را تهدید کند (الشکری، ۲۰۱۶). بر این اساس، هدف تحقیق حاضر بررسی رابطه میان امنیت انرژی و صنعتی شدن با استفاده از مدل خودرگرسیون آستانه ای است؛ زیرا امکان شناسایی سطوح بحرانی امنیت انرژی را فراهم می کند. برای این منظور در ادامه ساختار مقاله به این صورت است که در بخش دوم مبانی نظری و در بخش سوم پیشینه پژوهش بررسی می شود. بخش چهارم به روش تحقیق می پردازد. بخش پنجم به تحلیل یافته های تحقیق اختصاص دارد و نهایتاً در بخش ششم نتیجه گیری و پیشنهاد های سیاستی ارائه می شود.

۲. مبانی نظری

امنیت انرژی مفهومی فراگیر در حوزه های اقتصادی، سیاسی و زیست محیطی است که پس از بحران نفتی دهه ۱۹۷۰ میلادی شکل گرفت و در ابتدا بر امنیت عرضه نفت تمرکز داشت (سواکول و موکر جی^۲، ۲۰۱۱). در آن دوران، آژانس بین المللی انرژی^۳ (IEA) امنیت انرژی را توانایی تأمین پایدار انرژی با قیمت مناسب تعریف کرد. با گذر زمان و گسترش فناوری های نوین و تنوع منابع انرژی، مفهوم امنیت انرژی ابعاد گسترده تری پیدا کرد. مرکز تحقیقات انرژی آسیا و

^۵ Fang

^۶ Sovacool & Brown

^۷ Prambudita & Nakano

^۸ Yao & Chang

^۹ Song

^۱ Peng

^۲ Sovacool & Mukherjee

^۳ International Energy Agency

^۴ Asia Pacific Energy Research Center

۲۰۱۹؛ لی^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ لین و رضا^۲، ۲۰۲۰؛ لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۲)؛ و پژوهشگران چارچوب‌های نظری گوناگونی برای تبیین رابطه میان امنیت انرژی و رشد صنعتی ارائه کرده‌اند. نظریه وابستگی متقابل که اساکووا^۴ (۲۰۱۳) در چارچوب روابط انرژی اتحادیه اروپا و روسیه مطرح کرد، بر این نکته تأکید دارد که وابستگی متقابل متعادل میان کشورها می‌تواند امنیت انرژی را تقویت کند و از این طریق زمینه‌ساز توسعه صنعتی شود. همچنین چارچوب تابع تولید کل^۵ که ماکیه‌وا^۶ و همکاران (۲۰۲۲) بر آن تأکید دارند، انرژی را نهاده‌ای اساسی در کنار سرمایه و نیروی کار می‌داند که نقشی مستقیم در افزایش بهره‌وری و توسعه صنعتی ایفا می‌کند. افزون بر این، دیدگاه توسعه پایدار امنیت انرژی را یکی از پیش‌نیازهای اساسی رشد پایدار و حفاظت از محیط‌زیست می‌داند و بر ضرورت بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های پاک در فرآیند صنعتی‌شدن تأکید می‌کند (اوکتاموف^۷ و همکاران، ۲۰۲۴؛ الحق^۸ و همکاران، ۲۰۲۵).

مطالعات تجربی نیز ارتباط میان امنیت انرژی و رشد اقتصادی یا صنعتی‌شدن را تأیید کرده‌اند. بر اساس یافته‌های له و نگوین^۹ (۲۰۱۹)، سطوح بالاتر امنیت انرژی می‌تواند موجب تسریع رشد اقتصادی و بهبود بهره‌وری صنعتی شود؛ هرچند در برخی کشورها این رابطه بلندمدت ممکن است ضعیف یا حتی نامشخص باشد (نپال و پایجا^{۱۰}، ۲۰۱۹). در همین راستا، چند

فرضیه کلاسیک درباره رابطه انرژی و تولید صنعتی مطرح شده است. فرضیه رشد^{۱۱} بیان می‌کند که مصرف انرژی به‌عنوان موتور محرک رشد تولید صنعتی عمل می‌کند (اوناتانجی^{۱۲}، ۲۰۲۵؛ هاو^{۱۳}، ۲۰۲۲). در مقابل، فرضیه حفاظت^{۱۴} معتقد است که رشد تولید صنعتی موجب افزایش مصرف انرژی می‌شود (اکیل و بات^{۱۵}، ۲۰۰۱). فرضیه بازخورد^{۱۶} وجود یک رابطه علی دوطرفه میان مصرف انرژی و تولید صنعتی را مطرح می‌کند (قاضی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۲)؛ در حالی که فرضیه بی‌طرفی^{۱۸} هرگونه رابطه علی میان این دو متغیر را نفی می‌کند.

با این حال، برخی مطالعات نشان می‌دهند که رابطه بین مصرف انرژی و تولید صنعتی ساده و خطی نیست و ممکن است تحت تأثیر عوامل ساختاری، فناوری، سطح توسعه و سیاست‌های انرژی تغییر کند. به عبارت دیگر، این رابطه ماهیتی غیرخطی و آستانه‌ای دارد (حاج^{۱۹} و همکاران، ۲۰۲۴؛ وو-لیو^{۲۰}، ۲۰۱۰). این بدان معناست که اثر یک متغیر بر دیگری در سطوح مختلف ممکن است متفاوت باشد. به بیان دقیق‌تر، هنگامی که امنیت انرژی از سطح معینی فراتر رود یا صنعتی‌شدن به حد مشخصی از بلوغ برسد، تأثیر متقابل این دو متغیر می‌تواند تغییر کند. در نتیجه، میان امنیت انرژی و صنعتی‌شدن رابطه‌ای غیرخطی و آستانه‌ای برقرار است؛ رابطه‌ای که در آن امنیت انرژی نه تنها پیش‌شرطی ضروری برای رشد صنعتی پایدار است، بلکه

¹¹ Growth Hypothesis

¹² Onatunji

¹³ Hao

¹⁴ Conservation Hypothesis

¹⁵ Aqeel & Butt

¹⁶ Feedback Hypothesis

¹⁷ Qazi

¹⁸ Neutrality Hypothesis

¹⁹ Haj

²⁰ Wu-liu

¹ Li

² Lin & Raza

³ Lee

⁴ Esakova

⁵ Aggregate Production Function

⁶ Makieła

⁷ Uktamov

⁸ Ul-Haq

⁹ Le & Nguyen

¹⁰ Nepal & Paija

بهره‌وری انرژی نقش مهمی در جداسازی انتشار دی‌اکسیدکربن از رشد صنعتی دارد، هرچند ساختار انرژی و ساختار صنعتی تأثیر کمتری در این فرآیند ایفا می‌کنند. همچنین ساهو و ناریان^۶ (۲۰۱۰) با استفاده از روش دیویژیا پارامتریک در صنایع هند بیان کردند که تغییرات شدت انرژی در بخش‌های مختلف سهم بیشتری نسبت به تغییر ساختار تولید در تغییرات مصرف انرژی دارند.

مطالعات دیگر بیشتر بر رابطه مستقیم مصرف انرژی و تولید صنعتی متمرکز بوده‌اند. گلد^۷ و همکاران (۲۰۲۴) در نیجریه با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه توزیعی (ARDL) دریافتند که مصرف برق در کوتاه‌مدت و بلندمدت تأثیر مثبت و معناداری بر تولید بخش صنعت دارد. در مقابل، آسالیه^۸ و همکاران (۲۰۲۱) در نیجریه با استفاده از روش رگرسیون هم‌انباشتگی متعارف نشان دادند که مصرف برق نه تنها باعث بهبود عملکرد صنعتی نشده بلکه با تولید و اشتغال رابطه منفی دارد که می‌تواند ناشی از ناکارآمدی در استفاده از انرژی یا محدودیت‌های زیرساختی باشد. در همین راستا، مراب و حسن^۹ (۲۰۲۱) با به‌کارگیری مدل‌های OLS و ECM همراه با آزمون علیت گرنجر تأیید کردند که اگرچه بین تولید صنعتی و مصرف برق رابطه مثبت برقرار است، اما در بلندمدت رابطه معکوس میان مصرف برق و رشد اقتصادی وجود دارد و مسیر علیت بیشتر از رشد اقتصادی به مصرف برق (فرضیه حفاظت) جریان دارد. از سوی دیگر، در مطالعاتی مانند اوگونسولا و زوان^{۱۰} (۲۰۲۵) در ۱۶ کشور غرب آفریقا با به‌کارگیری مدل‌های مرزی تصادفی نشان داده شد که ناکارآمدی

صنعتی‌شدن نیز می‌تواند با ارتقای بهره‌وری انرژی، بهبود فناوری و توسعه منابع تجدیدپذیر به تقویت امنیت انرژی منجر شود. این تعامل دوسویه، جوهره پیوند میان سیاست‌های انرژی و توسعه صنعتی در چارچوب اقتصاد پایدار معاصر است.

۳. پیشینه پژوهش

مطالعات انجام‌شده خارج از ایران، در زمینه ارتباط انرژی و تولید صنعتی رویکردها و نتایج متنوعی را نشان می‌دهند که از ابعاد مختلفی همچون مصرف برق، بهره‌وری انرژی، یارانه‌های انرژی و نقش انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر قابل بررسی است. پژوهش السّلامی^۱ و همکاران (۲۰۲۵) در عربستان سعودی با استفاده از روش خودرگرسیون با وقفه توزیعی غیرخطی (NARDL) نشان داد که شوک‌های مثبت انرژی‌های تجدیدناپذیر در کوتاه‌مدت و بلندمدت محرک رشد تولید صنعتی هستند، در حالی که شوک‌های منفی با ایجاد اختلال در زنجیره تأمین و افزایش هزینه‌ها، تولید را کاهش می‌دهند. همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل هزینه‌های انتقال و ناکارآمدی‌های عملیاتی اثر منفی بر تولید بخش صنعت دارند.

در حوزه انتشار و کارایی انرژی، عبدالسامیع^۲ و همکاران (۲۰۲۵) در سطح جهانی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی^۳ (یادگیری ماشین) نشان دادند که افزایش ارزش افزوده صنعتی عامل اصلی کاهش کارایی مصرف انرژی است و این موضوع به افزایش انتشار آلاینده‌ها منجر می‌شود. روسیتا^۴ و همکاران (۲۰۲۰) در اندونزی با استفاده از شاخص دیویژیا^۵ (LMDI) تأیید کردند که

⁶ Sahu & Narayanan

⁷ Gold

⁸ Asaleye

⁹ Merab & Hassan

¹⁰ Ogunsola & Zwane

¹ Alsulamy

² Abdelsamiea.

³ Random Forest

⁴ Rosita

⁵ Logarithmic Mean Divisia Index

در شدت انرژی و ضعف زیرساخت‌ها عامل کاهش رشد صنعتی است، در حالی که کیفیت حکمرانی و شهرنشینی بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد. همچنین العیوطی^۱ (۲۰۲۰) در مصر اثر سیاست‌های یارانه‌ای انرژی را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که کشش تولید انرژی در صنایع مختلف متفاوت است و در برخی صنایع همچون محصولات نفتی تصفیه‌شده و ماشین‌آلات الکتریکی حتی اثر منفی دارد که بیانگر استفاده غیربهبینه از انرژی است.

در ایران، برخلاف کشورهای دیگر که مطالعات متعددی به بررسی رابطه مصرف انرژی و تولید صنعتی، بهره‌وری انرژی، یارانه‌های انرژی و نقش انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر پرداخته‌اند، تحقیقات محدودتر و بیشتر بر شدت انرژی و اثرات کوتاه‌مدت قیمت انرژی متمرکز بوده است. به عنوان مثال رودباری و ابونوری^۲ (۲۰۱۷) به بررسی رابطه بین شدت انرژی و میزان صنعتی‌شدن در کشورهای صادرکننده و واردکننده نفت پرداختند و نشان دادند که در کشورهای صادرکننده نفت که عمدتاً در حال توسعه هستند، ارتباط معناداری میان شدت انرژی و ساختار صنعتی وجود ندارد، در حالی که در کشورهای واردکننده نفت، افزایش شاخص صنعتی منجر به افزایش شدت مصرف انرژی می‌شود. خطیب^۳ و همکاران (۲۰۰۹) نیز اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر صنعت فولاد ایران را تحلیل کردند و نشان دادند که سهم بالای انرژی در هزینه‌های تولید سبب می‌شود افزایش قیمت انرژی به طور مستقیم بر قیمت تمام‌شده و عملکرد صنعتی اثرگذار باشد.

تحقیقات دیگر مانند عمادزاده و بکتاش^۴ (۲۰۰۵) و تقی‌لو برزلی^۵ و همکاران (۲۰۱۴) بیشتر بر سرمایه فیزیکی، نیروی کار، تحقیق و توسعه و واردات کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای تمرکز داشتند و نقش آن‌ها را در افزایش ارزش افزوده بخش صنعت و بهره‌وری منابع مورد بررسی قرار دادند. مطالعات دیگر نیز بر سرمایه انسانی، زیرساخت‌ها، حاکمیت و بخش خصوصی و اثر آن‌ها بر رشد صنعتی تأکید دارند (مظفری و قادری^۶، ۲۰۲۱؛ خالصی^۷ و همکاران، ۲۰۲۲؛ حمیدی فراهانی و عباسی^۸، ۲۰۲۲)، اما تمرکز اصلی بر بهره‌وری و ارزش افزوده صنایع بوده و تحلیل جامع ابعاد امنیت انرژی در رابطه با صنعتی‌شدن وجود ندارد.

با توجه به آنچه مطرح شد، تحقیقات جامع و سیستماتیک پیرامون تأثیر کلی امنیت انرژی بر صنعتی‌شدن و تحلیل ابعاد مختلف آن شامل امکان تأمین، قابلیت توسعه، مقرون‌به‌صرفه بودن و مقبولیت، همچنان ناقص است. علاوه بر این، نقش سرمایه ثابت ناخالص، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و تجارت در تعیین اثر امنیت انرژی بر تولید صنعتی به‌طور کامل شناسایی نشده است. بنابراین، این تحقیق به دنبال پوشش دادن این خلا مطالعاتی و بررسی تأثیرات غیرخطی امنیت انرژی بر صنعتی‌شدن است.

۴. روش‌شناسی پژوهش

هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر امنیت انرژی بر صنعتی‌شدن با استفاده از داده‌های دوره ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۱ ایران است؛ برای این منظور مدل تحقیق به صورت زیر است:

⁵ Taghilou Barzelaghi

⁶ Mozaffari & Ghaderi

⁷ Khalesi

⁸ Hamidi Farahani & Abbasi

¹ Al-Ayouty

² Roodbari & Aboinoori

³ Khatib

⁴ Emadzade & Baktush

سیستم انرژی در حالت کم کربن، تمیز و بهینه شده» است. ES4 به امکان تأمین امنیت انرژی که منعکس کننده امکانات تأمین انرژی در کانال حمل و نقل و جنبه های ژئوپلیتیکی است اشاره دارد و در نهایت ES5 به مقرون به صرفه بودن به این معنی که منابع انرژی با قیمت های مقرون به صرفه و رقابتی، از جمله انرژی داخلی و انرژی وارداتی، تضمین می شوند.

جدول ۱. تعریف و منبع متغیرهای امنیت انرژی

منبع داده	تعریف (واحد)	مؤلفه امنیت	متغیر
IEA	سرانه تولید انرژی اولیه ^۵ (quad btu)	در دسترس بودن	ES1
IEA	شدت انرژی اولیه ^۶ (1000 Btu/2015\$ GDP PPP)	مقبولیت	ES2
IEA	مصرف انرژی اولیه ^۷ (quad btu)	قابلیت توسعه	ES3
IEA	صرف انرژی اولیه - تولید انرژی اولیه مصرف انرژی اولیه	امکان تأمین	ES4
بانک مرکزی	میانگین قیمت نفت سبک و سنگین ایران	مقرون به صرفه بودن	ES5

مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به ویژگی شاخص ها (یعنی شاخص های سود و هزینه) در جدول (۱)، از روش Min-Max برای محاسبه شاخص ترکیبی امنیت انرژی استفاده می شود. از آنجا که شاخص امنیت انرژی یک شاخص سود است، هرچه مقدار آن بیشتر باشد، امنیت انرژی بیشتر است، به طور خاص وقتی بیشتر بودن مقدار یک شاخص نشان دهنده وضعیت بهتر باشد (مثلاً در دسترس بودن)، از رابطه زیر استفاده می شود:

$$INDU = f(GFCF, FDI, TRADE, ES) \quad (1)$$

در معادله بالا INDU متغیر وابسته و نشان دهنده میزان صنعتی شدن است که با ارزش افزوده بخش صنعت به تولید ناخالص داخلی اندازه گیری می شود (اوکچوکو و همکاران، ۲۰۲۳؛ کینگدوم و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این با الهام از مطالعات علی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) و کیتوله و اوتوه^۲ (۲۰۲۴)؛ سرمایه ثابت ناخالص (GFCF) به عنوان یک متغیر کنترلی به واحد درصد رشد سالانه، سرمایه گذاری مستقیم خارجی (FDI) به عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی و تجارت (Trade) نیز به صورت درصدی از تولید ناخالص داخلی وارد مدل شده اند تا تأثیر این عوامل در کنار امنیت انرژی بر صنعتی شدن تحلیل شوند. داده های این متغیرها از بانک جهانی استخراج^۳ شده اند. ES متغیر مستقل اصلی و نشان دهنده شاخص ترکیبی امنیت انرژی است و مشابه مطالعات له و نگوین (۲۰۱۹) و لی و همکاران (۲۰۲۲) در این تحقیق نیز برای اندازه گیری شاخص امنیت انرژی از پنج شاخص ارائه شده در جدول (۱) که پنج جنبه امنیت انرژی را در بر می گیرد استفاده شده است. ES1 به در دسترس بودن منابع نفت (و سایر سوخت های فسیلی) و انرژی هسته ای اشاره دارد که عمده تاً توسط منابع انرژی اولیه و ظرفیت اکتشاف تعیین می شود. ES2 مقبولیت مسائل زیست محیطی را در بر می گیرد که با تأثیر تولید و استفاده از انرژی بر اقتصاد سروکار دارد. علاوه بر این، فانگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز قابلیت توسعه^۴ امنیت انرژی را به عنوان مهم ترین شاخص عملکرد پایداری انرژی در نظر می گیرند. بر این اساس، ES3 قابلیت توسعه منعکس کننده «ظرفیت توسعه پایدار

⁴ Develop-Ability

⁵ Primary Energy Production Per Capita

⁶ Energy Intensity of Primary Energy

⁷ Primary Energy Consumption Per Capita

¹ Ali

² Kitole & Utouh

³ <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

بستگی دارد، مفید است، به عبارت دیگر، در مدل رگرسیون آستانه‌ای، هنگامی که یک متغیر آستانه‌ای از یک سطح مشخص عبور می‌کند، تأثیرات سایر متغیرها بر متغیر وابسته تغییر می‌کند. در این مدل، متغیر آستانه‌ای به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده برای تغییر رژیم‌ها عمل می‌کند؛ به عبارت دیگر، متغیر آستانه‌ای می‌تواند شاخصی باشد که بر اساس آن، مدل به دو یا چند حالت مختلف تقسیم می‌شود و روابط بین متغیرها در هر یک از این حالت‌ها به‌طور مستقل تحلیل می‌شوند. مدل خودرگرسیون آستانه‌ای در این تحقیق به‌صورت زیر است:

$$INDU_t = \begin{cases} \alpha_1 + \beta_{1,1}GFCF_t + \beta_{1,2}FDI_t + \beta_{1,3}TRADE_t \\ \quad + \beta_{1,4}ES_t + \varepsilon_t, & \text{if } q_t \leq \gamma \\ \alpha_2 + \beta_{2,1}GFCF_t + \beta_{2,2}FDI_t + \beta_{2,3}TRADE_t \\ \quad + \beta_{2,4}ES_t + \varepsilon_t, & \text{if } q_t > \gamma \end{cases} \quad (5)$$

در معادله بالا q_t نشان‌دهنده متغیر آستانه‌ای (متغیری که تغییر رژیم را تعیین می‌کند) و γ مقدار آستانه‌ای رژیم‌ها را نشان می‌دهد؛ همچنین α_1 و α_2 ضرایب ثابت در هر رژیم هستند.

۵. یافته‌های پژوهش

در جدول (۲)، آمار توصیفی متغیرهای تحقیق شامل صنعتی‌شدن، تشکیل سرمایه ثابت ناخالص، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تجارت و امنیت انرژی ارائه شده است. میانگین متغیر صنعتی‌شدن برابر با ۳۸/۴۱ و میانه آن ۳۹/۲۳ است که با چولگی منفی اندک (۰/۳۶-) نشان‌دهنده توزیع نسبتاً نرمال و ثبات نسبی سهم صنعت از تولید ناخالص داخلی است. در مقابل، تشکیل سرمایه ثابت ناخالص با میانگین ۱/۰۴

$$X_{i,d} = \frac{\chi - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن χ مقدار شاخص برای کشور در سال t است؛ و $X_{i,d}$ مقدار نرمال شده است. همچنین Max و Min به ترتیب بیشینه و کمینه مقدار شاخص را نشان می‌دهند. علاوه بر این وقتی کمتر بودن مقدار یک شاخص نشان‌دهنده وضعیت بهتر باشد (مثلاً مقرون و به‌صرفه بودن)، از رابطه (۳) استفاده می‌شود:

$$X_{i,d} = \frac{\text{Max} - \chi}{\text{Max} - \text{Min}} \times 100 \quad (3)$$

در مرحله بعد ضریب نهایی از طریق فرمول $ESI = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,d}}{n}$ محاسبه می‌شود که در این فرمول، n تعداد شاخص‌های مورد مطالعه و ESI شاخص اصلی است. ضریب شاخص بین صفر تا ۱۰۰ نوسان دارد که هر چه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، سطح شاخص بیشتر است. بنابراین در معادله (۴) فرم اقتصادسنجی معادله (۱) ارائه شده است:

$$INDU_t = \beta_0 + \beta_1GFCF_t + \beta_2FDI_t + \beta_3TRADE_t + \beta_4ES_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

β_0 ، عرض از مبدأ و β_1 ، β_2 ، β_3 و β_4 نماینگر ضرایب و ε_t جمله خطا است. روش خودرگرسیون آستانه‌ای^۱ (TAR) به‌طور عمده برای تحلیل روابط غیرخطی و بررسی تأثیرات یک متغیر توضیحی بر متغیر وابسته در دو یا چند رژیم مختلف بر اساس یک متغیر آستانه‌ای استفاده می‌شود. در این روش، فرض بر این است که روابط بین متغیرها در شرایط مختلف یا در هنگام عبور از یک سطح خاص تغییر می‌کنند. این مدل به‌ویژه در مواقعی که تأثیرات یک متغیر بر متغیر وابسته به وضعیت‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی یا سیاسی

¹ Threshold Autoregressive

واحد مرتبه اول انجام و مشخص شد که متغیرهای تحقیق در درجات مختلفی از $I(0)$ و $I(1)$ ایستا می‌شوند.

جدول ۳. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

متغیر	نماد	احتمال	آماره
ارزش افزوده بخش صنعت	INDU	۰/۴۵۴	-۱/۶۳۶
سرمایه ثابت	GFCF	۰/۰۰۰	-۵/۰۲۹
سرمایه گذاری مستقیم خارجی	FDI	۰/۱۱۸	-۲/۵۲۰
تجارت	TRADE	۰/۴۳۳	-۱/۶۷۸
امنیت انرژی	ES	۰/۰۵۴	-۲/۹۰۶
متغیر	نماد	احتمال	آماره
ارزش افزوده بخش صنعت	INDU	۰/۰۰۰	-۵/۸۰۴
سرمایه گذاری مستقیم خارجی	FDI	۰/۰۰۰	-۶/۶۹۹
تجارت	TRADE	۰/۰۰۰	-۴/۹۱۷
امنیت انرژی	ES	۰/۰۰۰	-۵/۵۹۷

مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به درجه ایستایی متغیرها، از آزمون پسران برای ارزیابی هم‌انباشتگی استفاده شده است. نتایج آزمون در جدول (۴) حاکی از آن است که مقدار آماره F محاسبه شده برابر با ۵/۱۹ است که به طور معناداری از حدود بالای مقادیر بحرانی در سطح اطمینان ۱۰ درصد (۳) و ۵ درصد (۳/۴۹) بیشتر است. این یافته رد فرضیه صفر مبنی بر نبود رابطه بلندمدت میان متغیرها را نشان می‌دهد و وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل را تأیید می‌کند.

جدول ۴. نتایج آزمون هم‌جمعی کرانه‌های پسران

سطح اطمینان	۱۰ درصد	۵ درصد	آماره F محاسباتی
کرانه پایین $I(0)$	۲/۲	۲/۵۶	۵/۱۹
کرانه بالا $I(1)$	۳/۰۹	۳/۴۹	

مأخذ: محاسبات تحقیق

و انحراف معیار بالا (۱۴/۰۴) بیشترین نوسان را داشته و بیانگر تغییرات شدید در روند سرمایه‌گذاری است. جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیز با میانگین ۰/۴۷ درصد و چولگی مثبت (۱/۷۵) مقادیر پایینی را نشان می‌دهد که حاکی از نوسانات محدود در ورود سرمایه خارجی است. متغیر تجارت با میانگین ۴۰/۶۵ درصد و انحراف معیار ۱۰/۲۵ توزیع متقارنی دارد و ثبات نسبی در سهم تجارت از تولید ناخالص داخلی را نشان می‌دهد. شاخص امنیت انرژی نیز با میانگین ۵۲/۹۲ و انحراف معیار ۵/۸۳، کمترین نوسان را میان متغیرها داشته و بیانگر وضعیت نسبتاً باثبات امنیت انرژی در کشور طی دوره مورد بررسی است.

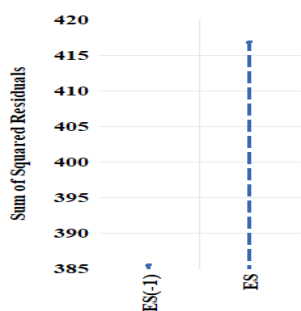
جدول ۲. آمار توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	INDU	GFCF	FDI	TRADE	ES
میانگین	۳۸/۴۱	۱/۰۴	۰/۴۷	۴۰/۶۵	۵۲/۹۲
میانه	۳۹/۲۳	۱/۵۶	۰/۳۸	۴۳/۶۹	۵۲/۶۸
بیشینه	۴۹/۶۳	۵۲/۴۶	۲/۷۴	۵۸/۵۶	۶۹/۶۰
کمینه	۲۴/۸۰	-۲۴/۵۲	-۰/۲۸	۱۴/۱۴	۴۱/۸۹
انحراف معیار	۶/۸۳	۱۴/۰۴	۰/۶۱	۱۰/۲۵	۵/۸۳
چولگی	-۰/۳۶	۱/۰۹	۱/۷۵	-۰/۷۹	۰/۳۹
کشیدگی	۲/۳۸	۶/۱۸	۶/۷۳	۳/۱۶	۳/۹۴
آماره جاک-برا	۱/۴۵	۲۴/۲۰	۴۲/۷۳	۴/۱۳	۲/۴۸
احتمال	۰/۴۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۳۹
تعداد مشاهدات	۳۹	۳۹	۳۹	۳۹	۳۹

مأخذ: محاسبات تحقیق

به‌منظور جلوگیری از بروز مشکل رگرسیون کاذب، آزمون ایستایی متغیرها با استفاده از آزمون دیکی-فولر تعمیم یافته^۱ (ADF) انجام شد. مطابق نتایج آزمون در جدول (۳)، همه متغیرهای تحقیق بجز سرمایه ثابت در سطح ایستا نیستند. لذا برای این متغیرها آزمون ریشه

^۱ Augmented Dickey-Fuller



نمودار ۱. مجموع مربعات پسماندها
مأخذ: محاسبات تحقیق

برای بررسی بهتر در جدول (۶) نتایج تعیین متغیر آستانه و در جدول (۷) نتایج تعیین مقدار آستانه به همراه تعداد رژیم‌ها با استفاده از روش بای‌پرون^۲ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج آزمون تعیین متغیر آستانه

متغیر	تعداد رژیم	مجموع مربعات پسماندها
وقفه امنیت انرژی	۲	۳۸۵/۳
امنیت انرژی	۲	۴۱۶/۶

مأخذ: محاسبات تحقیق

جدول ۷. آزمون شکست ساختاری متغیر آستانه

مقدار بحرانی	آماره F مقیاس	آماره F	
۱۸/۱۳	۷۷۵۲/۲۶۹	۱۹۳۸/۰۶۷	صفر در مقابل یک آستانه
۵۱/۵۷			مقدار آستانه

مأخذ: محاسبات تحقیق

بر اساس نتایج جدول (۶) امنیت انرژی (ES) به عنوان متغیر آستانه انتخاب می‌شود همچنین بر اساس نتایج جدول (۷) فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود شکست ساختاری با توجه به آماره F و مقدار مقیاس آن رد شده است بنابراین وجود یک شکست ساختاری با دو رژیم تایید می‌شود.

پس از بررسی ایستایی و هم‌انباشتی متغیرها، گام بعدی ارزیابی فرض غیرخطی بودن مدل است. برای این منظور، از آزمون BDS^۱ برای شناسایی وابستگی‌های غیرخطی در داده‌ها استفاده شده است. نتایج آزمون BDS در جدول (۵) نشان می‌دهد که برای ابعاد مختلف (از ۲ تا ۶)، مقدار احتمال کمتر از ۰/۰۵ است که فرضیه صفر (وابستگی خطی) را رد و وابستگی‌های غیرخطی در داده‌ها را تایید می‌کند. بنابراین، برای مدل‌سازی دقیق‌تر و بهبود پیش‌بینی‌ها، استفاده از مدل‌های غیرخطی مانند مدل خودرگرسیون آستانه‌ای ضروری است.

جدول ۵. نتایج آزمون BDS

ابعاد	آماره BDS	انحراف معیار	احتمال
۲	۰/۰۷۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰
۳	۰/۱۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰
۴	۰/۱۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰
۵	۰/۰۹۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰
۶	۰/۰۵۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰

مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به اهداف تحقیق، متغیر امنیت انرژی به همراه وقفه یک‌دوره‌ای آن به عنوان گزینه‌های بالقوه برای نقش متغیر آستانه‌ای ارزیابی شدند. بر اساس نتایج در نمودار (۱)، مدلی که وقفه ES را به عنوان متغیر آستانه‌ای در نظر می‌گیرد، کمترین مقدار مجموع مربعات باقیمانده (SSR) را نشان می‌دهد بنابراین این متغیر به عنوان متغیر آستانه‌ای انتخاب شده است.

^۲ Bai-Perron

^۱ Broock-Dechert-Scheinkman

اثر سازنده‌ای بر رشد صنعتی ندارد. این نتیجه بیانگر آن است که در رژیم پایین، اثر منفی ناطمینانی انرژی به قدری قوی است که می‌تواند منافع ناشی از سرمایه‌گذاری و تجارت را تا حدودی خنثی کند.

در رژیم دوم، زمانی که سطح امنیت انرژی از مقدار آستانه فراتر می‌رود، الگوی اثرگذاری متغیرها دستخوش تغییر معناداری می‌شود. در این حالت، ضرایب تمامی متغیرها همچنان مثبت و معنادارند، اما شدت اثر برخی از آن‌ها کاهش یافته است. ضریب سرمایه ثابت به $0/128$ کاهش یافته که نشان می‌دهد با افزایش امنیت انرژی، کارایی سرمایه بالا رفته و رشد صنعتی با نیاز کمتر به انباشت سرمایه سنگین قابل تحقق است. ضریب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیز به $0/011$ کاهش یافته است که احتمالاً بیانگر انتقال نقش FDI از محرک اصلی رشد به نقش تکمیلی در کنار سرمایه‌گذاری داخلی است. در مقابل، ضریب تجارت سرمایه امنیت انرژی بالا، تجارت خارجی همچنان یکی از موتورهای اصلی رشد صنعتی است زیرا ثبات انرژی زمینه‌ساز گسترش صادرات صنعتی و افزایش رقابت‌پذیری بنگاه‌ها می‌شود. نکته قابل توجه، تغییر علامت و معنی‌داری متغیر امنیت انرژی است به طوری که ضریب آن در رژیم دوم برابر با $0/105$ و مثبت است. این نتیجه حاکی از آن است که پس از عبور از سطح بحرانی، امنیت انرژی از یک عامل محدودکننده به عامل محرک رشد تبدیل می‌شود و از طریق کاهش ریسک تولید، بهبود پایداری عرضه انرژی، کنترل نوسانات قیمتی و افزایش اطمینان سرمایه‌گذاران، موجب رشد ارزش افزوده بخش صنعت می‌شود.

با توجه به تأیید پیش‌آزمون‌های انجام‌شده، نتایج برآورد مدل آستانه‌ای در جدول (۸) نشان می‌دهد که اثرگذاری متغیرهای اقتصادی بر ارزش افزوده بخش صنعت بسته به قرار گرفتن در دو رژیم امنیت انرژی پایین‌تر یا بالاتر از آستانه $51/57$ تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، رابطه میان متغیرهای اقتصادی و صنعتی‌شدن در شرایط ناامن انرژی با زمانی که امنیت انرژی به سطح پایدار و مطلوب‌تری می‌رسد، از الگوهای متفاوتی تبعیت می‌کند. در رژیم اول، زمانی که سطح امنیت انرژی کمتر از مقدار آستانه است، ضریب سرمایه ثابت ناخالص برابر با $0/278$ و معنادار در سطح یک درصد است که نشان‌دهنده نقش مهم سرمایه‌گذاری فیزیکی در ایجاد رشد صنعتی در شرایط ناپایداری انرژی است. در این سطح، سرمایه‌گذاری به‌عنوان عامل جبرانی کمبود انرژی عمل کرده و از طریق گسترش ظرفیت تولید و بهبود زیرساخت‌ها، رشد ارزش افزوده صنعتی را ممکن می‌سازد. همچنین ضریب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برابر با $0/357$ و معنادار گزارش شده که بیانگر اثرگذاری قوی ورود سرمایه خارجی در ارتقای توان تولیدی کشور در شرایط ناطمینانی انرژی است؛ بدین معنا که FDI در چنین محیطی نقش تسهیل‌کننده انتقال فناوری و تأمین مالی را ایفا می‌کند. متغیر تجارت نیز با ضریب مثبت و معنادار $0/541$ اثر قابل توجهی بر ارزش افزوده صنعتی دارد که می‌تواند ناشی از افزایش امکان تأمین بازارهای خارجی، واردات کالاهای واسطه‌ای و افزایش رقابت‌پذیری صنایع داخلی باشد. در همین حال، ضریب متغیر امنیت انرژی برابر با $-0/352$ و در سطح اطمینان بالا معنادار است که حاکی از آن است که در سطوح پایین امنیت انرژی، بی‌ثباتی در عرضه یا قیمت انرژی به عنوان مانعی برای فعالیت‌های صنعتی عمل می‌کند و افزایش جزئی در شاخص امنیت انرژی، هنوز

نتایج شاخص‌های برازش مدل نیز اعتبار آماری برآورد را تأیید می‌کند. مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۷۸ و ضریب تعیین تعدیل شده برابر با ۰/۷۲ است که نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی مناسب مدل می‌باشد. آماره F در سطح خطای کمتر از یک درصد معنادار بوده و بیانگر برازش کلی قابل قبول مدل است. نتایج آزمون‌های تشخیصی شامل آزمون ناهمسانی واریانس (ARCH)، آزمون خودهمبستگی بروش-گادفری و آزمون نرمال بودن جاک-برا نشان می‌دهد که فروض کلاسیک رگرسیون نقض نشده و مدل از لحاظ آماری معتبر و پایا است.

جدول ۸. نتایج برآورد مدل تحقیق

رژیم اول: متغیر آستانه کوچک‌تر از $(ES(-1) < 51/57)$				
متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره T	احتمال
GFCF	۰/۲۷۸	۰/۰۰۷	۳۶/۷۶۷	۰/۰۰۰
FDI	۰/۳۵۷	۰/۰۰۷	۴۶/۸۸۷	۰/۰۰۰
TRADE	۰/۵۴۱	۰/۰۶۶	۸/۱۳۸	۰/۰۰۰
ES	-۰/۳۵۲	۰/۰۳۰	-۱۱/۶۰۰	۰/۰۰۰
رژیم دوم: متغیر آستانه بزرگ‌تر یا مساوی $(ES(-1) \geq 51/57)$				
متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره T	احتمال
GFCF	۰/۱۲۸	۰/۰۱۶	۷/۵۹۶	۰/۰۰۰
FDI	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۳/۲۵۷	۰/۰۰۰
TRADE	۰/۴۷۲	۰/۰۴۶	۱۰/۱۱۵	۰/۰۰۲
ES	۰/۱۰۵	۰/۰۴۴	۲/۳۹۷	۰/۰۲۳
C	۱۲/۶۸۸	۳/۹۱۴	۳/۲۴۱	۰/۰۰۳
R-squared	۰/۷۸			
Adjusted R-squared	۰/۷۲			
F-statistic	۱۲/۹۳۷	۰/۰۰۰		
Heteroskedasticity Test: ARCH	۲/۲۳۲	۹/۱۲۳		
Breusch-Godfrey Serial Correlation	۱/۸۷۱	۰/۱۱۷		
Jarque-Bera	۰/۴۸۷	۰/۷۸۳		

مأخذ: محاسبات تحقیق

در مجموع، یافته‌ها تأیید می‌کنند که بین امنیت انرژی و رشد صنعتی رابطه‌ای آستانه‌ای و غیرخطی وجود دارد. تا زمانی که سطح امنیت انرژی پایین‌تر از مقدار بحرانی است، ناطمینانی و نوسانات انرژی موجب تضعیف اثرگذاری سایر متغیرهای اقتصادی بر رشد صنعتی می‌شود. اما پس از عبور از سطح آستانه، امنیت انرژی به عنوان پیش‌شرط رشد پایدار صنعتی عمل می‌کند و موجب افزایش بهره‌وری، ارتقای رقابت‌پذیری و توسعه ظرفیت‌های تولیدی می‌شود. این نتیجه ضمن تأیید فرضیه وجود اثر آستانه‌ای، بر اهمیت سیاست‌های انرژی در مسیر صنعتی شدن تأکید دارد به‌ویژه ضرورت سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی، تنوع‌بخشی به منابع تأمین، توسعه فناوری‌های نوین و ارتقای کارایی مصرف انرژی که می‌تواند کشور را از رژیم پایین امنیت انرژی به رژیم بالای پایدار منتقل کند.

۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، با استفاده از داده‌های دوره ۱۳۶۳ تا ۱۴۰۱ و روش خودرگرسیون آستانه‌ای، اثر آستانه‌ای امنیت انرژی بر صنعتی‌شدن اقتصاد ایران با تأکید بر ارزش افزوده بخش صنعت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که امنیت انرژی نقش کلیدی و آستانه‌ای در فرآیند صنعتی‌شدن دارد و تا زمانی که این شاخص به سطح آستانه‌ای مورد نیاز نرسد، سایر سیاست‌های توسعه صنعتی اثر کامل خود را بروز نخواهند داد. این نتایج ضمن تأیید فرضیه وجود اثر آستانه‌ای، بیانگر آن است که سیاست‌های انرژی، شرط لازم برای رشد پایدار صنعتی در اقتصاد ایران به شمار می‌آیند. بر این اساس تمرکز بر عبور از سطح آستانه‌ای امنیت انرژی (۵۱/۵۷) از طریق تقویت زیرساخت‌ها و

در پژوهش حاضر تعارض منافع وجود ندارد.

در دسترس بودن داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، بانک جهانی و آژانس بین‌المللی انرژی اخذ شده‌اند. داده‌ها در صورت درخواست نشریه، قابل ارائه هستند.

تعامل نویسندگان

تمام نویسندگان در نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

منبع مقاله

مقاله حاصل فعالیت تحقیقاتی محققین است.

شفاف‌سازی

در تدوین این مقاله از هوش مصنوعی یا فناوری‌های مشابه استفاده نشده است.

References

- Abdelsamiea, A. T., El-Aal, A., & Mohamed, F. (2025). Optimizing energy consumption efficiency in global industrial systems using the random forest algorithm. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(3), 239-244. DOI:10.32479/ijeep.18796
- Al-Ayouty, I. (2020). The effect of energy consumption on output: A panel data study of manufacturing industries in Egypt. *European Journal of Sustainable Development*, 9(3), 490-502. DOI:10.14207/ejsd.2020.v9n3p490
- Ali, M., Zahid, M., & Akbar, S. (2024). FDI and industrialization: Evidence from selected Asian developed and developing countries. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 12(4), 3093-3101. DOI:10.52131/pjhss.2024.v12i4.2541
- Alshukri, A. A. (2016). Value Added In The Industrial Sector Algerian And The Factors Influencing Them For A Period Of 2000-2014 Econometrics Study Using Modern Statistical Methods. *AL-Qadisiyah Journal For*

تنوع‌بخشی به منابع انرژی ضروری است. از این رو با توسعه ظرفیت تولید برق و گاز، سرمایه‌گذاری در خطوط انتقال و ذخیره‌سازی، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد مصرف و ارتقای کارایی انرژی در صنایع می‌توان پایداری و قابلیت اطمینان در بخش انرژی را تقویت کرد. از طرفی ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و جذب سرمایه‌گذاری خارجی در حوزه انرژی، به‌ویژه در زمینه فناوری‌های پاک و با بهره‌وری بالا، ضروری است. در رابطه با سیاست‌های بخش صنعت نیز پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های توسعه بخش صنعت با سیاست‌های انرژی هماهنگ شوند به‌طوری که توزیع انرژی، قیمت‌گذاری و حمایت‌های دولتی متناسب با اهداف صنعتی‌سازی پایدار طراحی شوند. گسترش همکاری‌های بین‌المللی در زمینه انتقال فناوری‌های نوین انرژی، استفاده از ظرفیت سازمان‌های منطقه‌ای و جهانی و ایجاد ثبات در قوانین و مقررات سرمایه‌گذاری نیز می‌تواند نقش مهمی در تقویت امنیت انرژی و ارتقای صنعتی‌شدن داشته باشد. برای بهره‌گیری مؤثر از امنیت انرژی در مسیر توسعه صنعتی، ضرورت اصلاحات نهادی و سیاستی در بخش انرژی کشور بیش از پیش احساس می‌شود. این اصلاحات باید با هدف افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی، کارایی مدیریتی و بهبود حکمرانی انرژی صورت گیرد تا امنیت انرژی نه‌تنها از نظر فیزیکی (تولید و عرضه)، بلکه از منظر اقتصادی و نهادی نیز تضمین شود. تنها در چنین شرایطی می‌توان انتظار داشت که امنیت انرژی به‌عنوان زیرساختی راهبردی، محرک اصلی رشد پایدار و ارزش افزوده صنعتی در اقتصاد ایران باشد.

تعارض منافع

- industrial production using the logistic smooth transition regression approach. *Discover Energy*, 4(1), 34. DOI:10.1007/s43937-024-00061-5.
- Hamidi Farahani, A., & Abbasi, H. (2022). Investigating the Effects of Financing, Human Capital, and Research and Development on the Value-Added of Iran's Industrial Sector using the Panel Quantile Approach. *Journal of Industrial Economics researches*, 6(20), 15-25. (in Persian). DOI:10.30473/jier.2023.65037.1341.
- Hao, Y. (2022). The relationship between renewable energy consumption, carbon emissions, output, and export in industrial and agricultural sectors: evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(42), 63081-63098. DOI:10.1007/s11356-022-20141-0.
- Hu, Y., Guo, D., Wang, M., Zhang, X., & Wang, S. (2015). The relationship between energy consumption and economic growth: Evidence from China's industrial sectors. *Energies*, 8(9), 9392-9406. DOI:10.3390/en8099392
- Khalesi, A., Abbasi, A., & Alimohammadlou, M. (2022). Defining the Effective Factors in Iran's Export-led Industrialization. *Majlis and Rahbord*, 29(111), 219-256. (in Persian). doi:10.22034/mr.2022.4652.4541
- Khatib, M. A., Seifipour, R., & Rahimi, S. (2009). An Analysis of prices of energy carriers on the steel industry in Iran. *Financial Economics*, 3(9), 23-36. (in Persian).
- Kingdom, E. O., Worika, I. L., & Umofia, N. (2017). The impact of infrastructural development on Nigeria's industrial sector. *African Research Review*, 11(3), 23-30. DOI:10.4314/afrrrev.v11i3.3
- Kitole, F. A., & Utouh, H. M. (2024). Foreign direct investment and industrialization in Tanzania admixture time series forecast analysis 1960-2020. *Applied Economics Letters*, 31(20), 2110-2117. DOI:10.1080/13504851.2023.2211324.
- Le, T.-H., & Nguyen, C. P. (2019). Is energy security a driver for economic growth? Evidence from a global sample. *Energy policy*, 129, 436-451. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.02.038.
- Lee, C.-C., Xing, W., & Lee, C.-C. (2022). The impact of energy security on income inequality: The *Administrative and Economic sciences*, 18(4), 120-138. DOI:10.33916/qjae.2024.841
- Alsulamy, N., Shoukat, A., & Elgammal, I. (2025). Business Strategies for Managing Non-Renewable Energy Dynamics in Saudi Arabia's Manufacturing Sector. *Sustainability*, 17(10), 4331. DOI:10.3390/su17104331.
- Aqeel, A., & Butt, M. S. (2001). The relationship between energy consumption and economic growth in Pakistan. *Asia-Pacific Development Journal*, 8(2), 101-110.
- Arjun, K., Kumar, S., Sankaran, A., & Das, M. (2021). Open door system and endogenous growth in Indian economy: An empirical analysis on the role of human capital and R&D in explaining industrial productivity. *Management and Labour Studies*, 46(1), 24-37. DOI:10.1177/0258042X20976948.
- Asaleye, A. J., Lawal, A. I., Inegbedion, H. E., Oladipo, A. O., Owolabi, A. O., Samuel, O. M., & Igbolekwu, C. O. (2021). Electricity consumption and manufacturing sector performance: evidence from Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(4), 195-201. DOI:10.32479/IJEEP.11399.
- Emadzade, M., & Baktush, f. (2005). The Impact of Education on the Industrial Sector Value-added. *Knowledge and Developmen*, 1(16), 37-50. (in Persian).
- Esakova, N. (2013). *European energy security: analysing the EU-Russia energy security regime in terms of interdependence theory*: Springer Science & Business Media. eBook.
- Fang, D., Shi, S., & Yu, Q. (2018). Evaluation of sustainable energy security and an empirical analysis of China. *Sustainability*, 10(5), 1685. DOI: 10.3390/su10051685.
- Gold, K. L., Adetunji, K. O., Yusuf, H. A., & Sulaiman, S. (2024). Electricity production, consumption, and manufacturing sector performance in Nigeria: A multi-decade analysis. *Journal of applied economic research*, 23(4), 1077-1098. DOI:10.15826/vestnik.2024.23.4.042
- Haj, H. O. E., Kalai, M., Aloulou, R., & Helali, K. (2024). Energy consumption threshold in the context of structural breaks: evidence from Tunisia

- of *Advanced Research and Reports*, 17(11), 263-271. DOI:10.9734/ajarr/2023/v17i111572.
- Ogunsola, A. J., & Zwane, T. T. (2025). Energy Efficiency Policies and Industrial Growth: Unlocking West Africa's Production Potential. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(2), 441. DOI:10.32479/ijeep.18138.
- Onatunji, O. G. (2025). Electricity consumption and industrial output: fresh evidence from economic community of West African states (ECOWAS). *Journal of Economic and Administrative Sciences*, 41(1), 381-398. DOI:10.1108/jeas-09-2021-0177.
- Peng, J., Chen, H., Jia, L., Fu, S., & Tian, J. (2023). Impact of digital industrialization on the energy industry supply chain: evidence from the natural gas industry in China. *Energies*, 16(4), 1564. DOI:10.3390/en16041564.
- Prambudia, Y., & Nakano, M. (2012). Integrated simulation model for energy security evaluation. *Energies*, 5(12), 5086-5110. DOI:10.3390/en5125086.
- Qazi, A. Q., Ahmed, K., & Mudassar, M. (2012). Disaggregate energy consumption and industrial output in Pakistan: An empirical analysis. *Economics Discussion Papers*, 2012-29. <http://hdl.handle.net/10419/59591>.
- Roodbari, M., & Aboinoori, A. (2017). The relationship between energy intensity and level of industrialization in selected countries. *Iranian Energy Journal*, 20(1), 141-160. (in Persian) <http://necjournals.ir/article-141-1046-fa.html>.
- Rosita, T., Zaekhan, Estuningsih, R. D., & Widharosa, N. (2021). Does energy efficiency development in manufacturing industry decouple industrial growth from CO2 emissions in Indonesia? *International Journal of Environmental Studies*, 78(4), 573-587. DOI:10.1080/00207233.2020.1811575
- Sahu, S. K., & Narayanan, K. (2010). Decomposition of industrial energy consumption in Indian manufacturing: the energy intensity approach. *Journal of Environmental Management & Tourism*, 1(1), 22. DOI:10.15826/vestnik.2024.23.4.042
- Song, Y., Zhang, M., & Sun, R. (2019). Using a new aggregated indicator to evaluate China's energy key role of economic development. *Energy*, 248, 123564. DOI:10.1016/j.energy.2022.123564
- Li, J., Wang, L., Lin, X., & Qu, S. (2020). Analysis of China's energy security evaluation system: Based on the energy security data from 30 provinces from 2010 to 2016. *Energy*, 198, 117346. DOI:10.1016/j.energy.2020.117346
- Lin, B., & Raza, M. Y. (2020). Analysis of energy security indicators and CO2 emissions. A case from a developing economy. *Energy*, 200, 117575. DOI:10.1016/j.energy.2020.117575.
- Mahbub, M., Makuku, M., & Yasin, M. (2025). Sektor Industrialisasi dan Pengelompokan pada Perusahaan Negara. *MENAWAN : Jurnal Riset dan Publikasi Ilmu Ekonomi*, 3, 63-68. DOI:10.61132/menawan.v3i3.1396.
- Makiela, K., Mazur, B., & Głowacki, J. (2022). The impact of renewable energy supply on economic growth and productivity. *Energies*, 15(13), 4808. DOI:10.3390/en15134808.
- Merab, I. V. O., & Hassan, B. (2021). An Empirical Analysis of the Energy-Growth Hypothesis for Nigeria (1991–2019). *Journal of Energy Technologies and Policy*, 11(5), 18-28. DOI:10.7176/jetp/11-5-03
- Mozaffari, z., & Ghaderi, S. (2021). The role of human capital in the industrialization of Iranian economy; Applications of fuzzy logic and GMM in time series. *Journal of Industrial Economics researches*, 5(17), 45-58. (in Persian). DOI:10.30473/indeco.2022.8356
- Naqvi, S. K. H., Zahra, H. S., & Khan, G. (2023). How does Energy Consumption Affect Sectorial Value Addition? An Empirical Evidence from SAARC Economies. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 11(2), 2107-2117. DOI:10.52131/pjhss.2023.1102.0510.
- Nepal, R., & Paija, N. (2019). Energy security, electricity, population and economic growth: The case of a developing South Asian resource-rich economy. *Energy Policy*, 132, 771-781. DOI:10.1016/j.enpol.2019.05.054.
- Nwokoye, M. O., Nwokocha, A. F., Okoye, N., Onwuka, I. N., Okechukwu, S. C., Ekwughu, J. C., & Odunukwe, C. M. (2023). Impact of industrial sector growth on Nigeria economy. *Asian Journal*

security. *Energy Policy*, 132, 167-174. DOI:10.1016/j.enpol.2019.05.036.

Sovacool, B. K., & Brown, M. A. (2010). Competing dimensions of energy security: an international perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 77-108. DOI:10.1146/annurev-environ-042509-143035.

Sovacool, B. K., & Mukherjee, I. (2011). Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach. *Energy*, 36(8), 5343-5355. DOI:10.1016/j.energy.2011.06.043.

Taghilou Barzelaghi, M., Rahnomay Garamaleki, G., & Dizaji, M. (2014). The Effects of Internal R&D Expenditures and Intermediate-Capital Imports on Productivity and Value Added in Iranian Provincial Industries. *Productivity Management (Beyond Management)*, 7(27), 15-50 (in Persian). <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jpm>.

Tamuno, S., & Edoumiekumo, S. (2011). Industrialization and Trade Globalization: What Hope for Nigeria? *Sophia: An African Journal of Philosophy*, 13(2), 33-42. DOI:10.4314/sophia.v13i2.

Uktamov, K., Abdullayeva, S., Rejapov, X., Mambetjanov, K., & Imomov, J. (2024). Improving regional energy security assessment criteria in the republic of Uzbekistan. Paper presented at the E3S Web of Conferences. DOI:10.1051/e3sconf/202458701020.

Ul-Haq, J., Visas, H., Rehan, R., Hye, Q. M. A., & Abbasi, S. (2025). Toward energy security: The role of industrial intelligence and high-quality economic development. *International Journal of Management and Sustainability*, 14(2), 530-547. DOI:10.18488/11.v14i2.4213

Wu-liu, Z. (2010). Threshold Model of Two-Sector Production Function and Its Application—A Case Study of the Relationship between Energy Consumption and Economic Growth. *Journal of Applied Statistics and Management*. Open Access Journal Article.

Yao, L., & Chang, Y. (2014). Energy security in China: A quantitative analysis and policy implications. *Energy Policy*, 67, 595-604. DOI:10.1016/j.enpol.2013.12.047.