-- Iranian Energy Economics------
Spring 2023, 46 (12), 43-67
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.71769.1973

Original Research
Received: 29/Dec/2022
Accepted: 14/June/2023
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Energy Consumption and Total Factor Productivity Dynamics in the Industrial Sector

Seyed Ali Emami — Ph.D. Candidate in Economics, Department of Economics, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

Seyed Yahya Abtahi* — Assistant Professor of Economics, Department of Economics, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

Zohreh Tabatabaienasab — Assistant Professor of Economics, Department of Economics, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

Mohamad Ali Dehghan Tafti — Assistant Professor of Economics, Department of Economics, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

Abstract

In this paper, the relationship between energy consumption and total factor productivity (TFP) in the industrial sector in Iran has been investigated using threshold-type nonlinear relationships. The results of estimating a two-threshold model in a sample including data related to 110 industrial branches during the years 2002-2019 show that the effect of energy consumption on the TFP in the industry sector is state-dependent on the energy consumption state or regime and the energy consumption variable coefficients in all regimes has a negative and significant effect on the TFP. If the energy consumption in Iran's industrial sector exceeds a certain threshold, the negative effect of energy consumption on the TFP will intensify. Also, the effect of energy consumption on the TFP in the industry sector is a state dependent on the TFP state or regime, so in low TFP regimes or states, the effect of energy consumption on the TFP of industries is considerable, but in high TFP regimes, industries with higher TFP have a much lower negative impact of energy consumption on their TFP.

Keywords: energy consumption, total factor productivity, industrial sector, threshold models

JEL Classification: O47 , Q43 , C24 , L60

* Corresponding Author: Abtahi@iauyazd.ac.ir
How to Cite: Emami, S A., Abtahi, S Y., Tabatabaienasab, Z., Dehghan Tafti, M A. (2023). Energy Consumption and Total Factor Productivity Dynamics in the Industrial Sector. Iranian Energy Economics, 46 (12), 43-67.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۲، شماره ٤٦، بهار ۱٤۰۲، ٤۳-٦۷
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2023.71769.1973

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

تحلیل پویاییهای مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت ایران

سید علی امامی دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یـزد، ایران

سید یحیی ابطحی * استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

زهره طباطبایی‌نسب استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

محمدعلی دهقان تفتی استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

چکیده

در این مطالعه، رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت در ایران با استفاده از روابط غیرخطی از نوع آستانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج برآورد یک مدل دو آستانه‌ای در نمونه‌ای شامل داده‌های مربوط به ۱۱۰ شاخه صنعتی طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۱ نشان می‌دهد تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، یک اثر وابسته به وضعیت یا وابسته به رژیم مصرف انرژی است و ضرایب متغیر مصرف انرژی در همه رژیم‌ها بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، منفی و معنی‌دار هستند. چنانچه نسبت ارزش انرژی مصرف‌شده به ارزش محصولات تولیدشده در بخش صنعت ایران از آستانه مشخصی تجاوز کند تأثیر منفی مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید شدت می‌گیرد. همچنین، تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، یک اثر وابسته به وضعیت یا وابسته به رژیم بهره‌وری کل عوامل تولید نیز هست به‌گونه‌ای که در وضعیت‌ها یا رژیم‌های پایین بهره‌وری، اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری صنایع قابل‌توجه است اما در وضعیت‌ها یا رژیم‌های بالای بهره‌وری، اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری تا حد زیادی کاهش می‌یابد. ازاین‌رو صنایع با بهره‌وری بالاتر از تأثیر منفی بسیار کمتری از مصرف انرژی بر بهره‌وری خود برخوردار هستند.

کلیدواژه‌ها: مصرف انرژی، بهره‌وری کل عوامل تولید، بخش صنعت، مدل‌های آستانه‌ای

طبقه‌بندی JEL: L60 , C24 , Q43 , O47

* نویسنده مسئول: Abtahi@iauyazd.ac.ir

۱. مقدمه

رابطه بین مصرف انرژی از یک طرف و رشد اقتصادی و بهره‌وری کل عوامل تولید از طرف دیگر همواره یکی از موضوعات مورد بررسی و درعین‌حال بحث‌برانگیز در ادبیات اقتصاد انرژی بوده است. با این حال، از آنجایی‌که انرژی به‌عنوان یک عامل اساسی تولید توسط بسیاری از اقتصاددانان انرژی در نظر گرفته می‌شود (استرن[۱]، ۲۰۰۰؛ لی و چانگ[۲]، ۲۰۰۸)، استدلال می‌شود که کاهش مصرف انرژی ممکن است رشد اقتصادی را مختل کند و درنتیجه رشد بهره‌وری را کاهش و بیکاری را افزایش دهد. از سوی دیگر، طرفداران به‌اصطلاح «فرضیه حفاظت»[۳] استدلال می‌کنند که رابطه مثبت بین مصرف انرژی و سطح تولید از اثرات مثبت نرخ رشد تولید بر مصرف انرژی ناشی می‌شود و ازاین‌رو سیاست‌هایی باهدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی اثر نامطلوب محدودی بر رشد اقتصادی و بهره‌وری کل عوامل تولید خواهند داشت. به‌طور مشابه، حامیان «فرضیه بی‌طرفی»[۴] استدلال می‌کنند که مصرف انرژی و سطح تولید همبستگی ندارند، و بنابراین نه صرفه‌جویی انرژی و نه سیاست‌های ارتقای انرژی بر میزان بهره‌وری و رشد اقتصادی کشورها تأثیر نمی‌گذارند (برای مثال، نگاه کنید به (لی، چانگ، ۲۰۰۸؛ اوزتورک[۵]، ۲۰۱۰)). با توجه به وجود این دیدگاه‌های جایگزین در مورد رابطه بین مصرف انرژی و سطح تولید یا بهره‌وری، کشف ارتباط علت و معلولی بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل در طراحی سیاست‌های انرژی برای هر کشور ضروری به نظر می‌رسد.

اگرچه رابطه علّی بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل به‌طور گسترده در ادبیات بررسی شده است، اما هنوز توافقی چندانی در این خصوص حاصل نشده است (اوزتورک، ۲۰۱۰). در حالی که نتیجه برخی از مطالعات همچون استرن (۲۰۰۰)، اوه و لی (۲۰۰۴)، ولد و روفائل (۲۰۰۴)، هو و سیو (۲۰۰۷) نشان می‌دهد که مصرف انرژی منجر به رشد تولید می‌شود. با این حال، در مطالعات آپرگیس و پاین[۶] (۲۰۰۹) و هالیسگلو[۷] (۲۰۰۹) رابطه علیتی بین مصرف انرژی و تولید یافت نمی‌شود. از

1. Stern
2. Lee & Chang
3. conservation hypothesis
4. neutrality hypothesis
5. Ozturk
6. Apergis & Payne
7. Halicioglu

طرف دیگر، مطالعاتی همچون گلسور (۲۰۰۲)، اردال و همکاران. (۲۰۰۸) و بلومی (۲۰۰۹) یک رابطه علیت دوطرفه بین مصرف انرژی و سطح تولید را نشان می‌دهند. و مطالعه توگسو و تیواری (۲۰۱۶) فرانسیس و همکاران. (۲۰۰۷)، آکینلو (۲۰۰۸) نیز پیرامون ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری به نتایج متفاوتی برای گروه‌های مختلف کشورها دست یافته‌اند. بنابراین علی‌رغم مطالعات وسیع صورت گرفته در این حوزه توافق چندانی درخصوص اثرات مصرف انرژی بر متغیرهای تولید، رشد اقتصادی و بهره‌وری حاصل نشده است. نتایج متناقض در ادبیات تجربی معمولاً به استفاده از دوره‌های زمانی مختلف، کشورهای نمونه، روش‌های اقتصادسنجی و شکل‌های مختلف تابعی مربوط می‌شود.

اخیراً، مدل‌سازی روابط غیرخطی احتمالی بین متغیرهای اقتصادی، توجه بسیاری از اقتصاددانان را به خود جلب کرده است و برخی از مطالعات تجربی به بررسی روابط غیرخطی بین مصرف انرژی و سطح تولید اختصاص داده شده است. مطالعات اخیر در این خصوص نشان می‌دهند که رابطه متقابل بین مصرف انرژی و متغیرهای اقتصادی ممکن است ذاتاً غیرخطی باشند. (همیلتون، ۲۰۰۳؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ و سرلتیس، ۲۰۱۰). هوانگ و همکاران (۲۰۰۸) روابط غیرخطی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را برای ۸۲ کشور با استفاده از مدل‌های رگرسیونی آستانه بررسی کرده‌اند. با استفاده از نامزدهای مختلف برای متغیر تغییر رژیم، آن‌ها رابطه مثبت و معناداری بین مصرف انرژی و رشد تولید برای رژیم‌های مرتبط با مقادیر آستانه پایین‌تر پیدا کردند. با این حال، زمانی که متغیرهای آستانه بالاتر از سطوح آستانه معین هستند، بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی رابطه معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین ارائه شواهد متفاوت در مطالعات انجام‌شده پیرامون مصرف انرژی و متغیرهای اقتصادی می‌تواند به دلیل وجود ماهیت غیرخطی اثرگذاری مصرف انرژی بر سطح تولید باشد به‌گونه‌ای که در آستانه‌های متفاوت، تأثیر کاملاً متفاوتی از اثرگذاری مصرف انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌ها بر سطح تولید ایجاد می‌شود و مصرف انرژی بر متغیرهای اقتصادی در واقع یک تأثیر وابسته به رژیم ایجاد می‌کند. این‌یک موضوع مهم است و یافته‌های مطالعات اخیر حاکی از آن است که سیاست‌گذاران باید در طراحی و اجرای سیاست‌های مربوط به انرژی این موضوع را در نظر بگیرند.

در این مطالعه، رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت در ایران با استفاده از روابط غیرخطی از نوع آستانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس ابتدا ادبیات تجربی موجود در این خصوص بررسی شده و نوآوری‌های مطالعه

موجود نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده پیرامون این موضوع در بخش دوم ارائه می‌شود و سپس با معرفی متدولوژی تحقیق در بخش سوم، شواهدی از روابط غیرخطی بین مصرف انرژی در بنگاه‌های تولیدی در بخش صنعت ایران و بهره‌وری کل عوامل تولید آن‌ها در بخش چهارم ارائه می‌شود. سرانجام نتایج مطالعه در بخش پنجم مقاله آورده شده است.

۲. پیشینه پژوهش

در مدل‌های رشد نئوکلاسیک، عوامل نیروی کار، انباشت سرمایه و تکنولوژی در توابع تولید کل در نظر گرفته شده‌اند و این مدل‌ها، نقش احتمالی انرژی را به عنوان یک عامل تولید نادیده می‌گیرند، زیرا به عنوان یک محصول میانی حاصل از به‌کارگیری انباشت سرمایه و نیروی کار به جای یک نهاده اولیه در نظر گرفته می‌شود. بحران‌های نفتی دهه ۱۹۷۰ توجه را بر نقش انرژی در رشد اقتصادی متمرکز کرد و بنابراین فرصتی را برای محققان فراهم کرد تا انرژی را به عنوان نهاده در توابع تولید اضافه کنند.

طی سالهای اخیر، افزودن انرژی به عنوان عامل تولید در توابع تولید کل، محبوبیت خود را دوباره به دست آورده است (ورف، ۲۰۰۸). یکی از دلایل احتمالی این موضوع توجه به نقش پررنگ و کاربردی انرژی در فرایندهای تولید است، چرا که «توجه فزاینده به مسائل انرژی و زیست‌محیطی، احیای مدل‌سازی کلان اقتصادی در این خصوص را برانگیخته است» (ژا و ژو، ۲۰۱۴). به عبارت دیگر، اثرات انرژی در یک مدل اقتصادی – انرژی را نمی توان مورد مطالعه قرار داد مگر اینکه انرژی به عنوان یک عامل درونزای تولید لحاظ شود. دلیل احتمالی دیگر، شواهد زیادی است که نشان می‌دهد انرژی به شدت با رشد اقتصادی مرتبط است. (برانز و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین در قالب الگوهای حسابداری رشد، نقش انرژی در تشکیل و رشد بهره‌وری کل عوامل تولید مورد توجه قرار گرفته است.

براساس چارچوب حسابداری رشد سولو (۱۹۵۶، ۱۹۵۷)، بهره‌وری کل عوامل یک مفهوم مرکزی است که ترکیبی از پیشرفت در فناوری تولید و کارایی و رشد مهارت‌های مدیریتی را نشان می‌دهد. بر این اساس و با توجه به نقش انرژی در مدل‌های رشد اقتصادی، به طور کلی فرض شده است که بهره‌وری کل عوامل تولید دارای قدرت توضیحی بر عوامل تولید ازجمله عامل انرژی است و این فرض توسط بسیاری از تحقیقات تأیید شده است (دنیسون، ۱۹۸۵؛ جرزمانوفسکی، ۲۰۰۷). از طرف دیگر مطالعه رابطه بین

مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل که برای اولین‌بار توسط جورگنسون (۱۹۸۴) انجام شد، نشان می‌دهد که مصرف انرژی به طور مثبت به بهره‌وری کل عوامل کمک می‌کند. چرا که رشد بهره‌وری در درازمدت، رشد بهره‌وری نیروی کار و مصرف انرژی ارتباط نزدیکی با هم دارند (جارویس، ۲۰۱۸). برخی از مطالعات استدلال می‌کنند که تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل به این دلیل است که رشد بهره‌وری نیروی کار به استفاده از انرژی متکی است. (وریگلی، ۲۰۱۶). علاوه بر این، سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی ممکن است بر نرخ انباشت سرمایه و نرخ رشد بهره‌وری در طول مسیر رشد اقتصادی اثرگذار باشد. بنابراین، امروزه انرژی هنوز هم گاهی اوقات به عنوان پاسخی به معمای بهره‌وری پیشنهاد می‌شود (راس و همکاران، ۲۰۱۹)

در حالی که تعداد زیادی از مطالعات تجربی ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را مورد بررسی قرار داده‌اند، با این حال، ادبیات مربوط به رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید اندک است و تنها مطالعات کمی وجود دارد که مستقیماً ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل را بررسی می‌کنند.

رحمان و همکاران، (۲۰۱۷) رابطه متقابل بین بهره‌وری بخشی و مصرف انرژی را در مالزی با استفاده از روش چرخش رژیم مارکوف بررسی می‌کنند و وجود روابط غیرخطی و چرخش رژیم بین مصرف انرژی و بهره‌وری بخشی را تأیید می‌کنند. توگسو و تیواری (۲۰۱۶) رابطه علی بین انواع مختلف مصرف انرژی و رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در اقتصادهای نوظهور را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که هیچ ارتباط علی قابل توجهی بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در این کشورها وجود ندارد .با این حال، در مورد انرژی‌های تجدیدناپذیر، مصرف انرژی یک اثر خارجی مثبت ایجاد می‌کند که با رشد بهره‌وری کل عوامل تولید، به توسعه اقتصادی در برزیل و آفریقای جنوبی کمک می‌کند.

لادو و ملدو[1] (۲۰۱۴) رابطه بلندمدت بین بهره‌وری کل عوامل و مصرف انرژی را در ایتالیا بررسی کرده‌اند. در مطالعه آن‌ها، بهره‌وری کل عوامل تولید به‌عنوان معیاری برای رشد اقتصادی و درنتیجه تغییرات تکنولوژیکی به کار گرفته شده است. نتایج این مطالعه یک علیت دوطرفه را بین بهره‌وری کل عوامل و مصرف انرژی برای مناطق ایتالیا نشان

1. ladu & meleddu

می‌دهد. آلتینوز[1] (۲۰۲۱) تأثیر مصرف انرژی تجدیدپذیر و سوخت فسیلی بر بهره‌وری کل عوامل در کشورهای صنعتی را مطالعه نموده‌اند. نتایج تحلیل آن‌ها نشان می‌دهد که مصرف انرژی تجدیدپذیر تأثیر مثبتی بر بهره‌وری کل عوامل در بلندمدت دارد. بر این اساس، افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری کل عوامل را در بلندمدت افزایش می‌دهد. همچنین، ضریب مصرف انرژی سوخت فسیلی مثبت اما از نظر آماری ناچیز است.

راس و همکارن (۲۰۱۹) در مطالعه خود به دنبال پاسخ به این سؤال هستند که آیا انواع مصرف انرژی بر رشد بهره‌وری کل عوامل (بهره‌وری کل عوامل تولید) تأثیر می‌گذارد یا خیر. نتایج مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که مصرف سوخت فسیلی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید را کاهش می‌دهد، در حالی که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر رشد بهره‌وری کل عوامل تولید را افزایش می‌دهد. با این حال، نتایج در زیر پانل‌های مختلف متفاوت است.

در حوزه مطالعات داخلی پیرامون ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل نیز مطالعات بسیار اندکی صورت گرفته است. انوشه پور و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود تأثیر برخی از متغیرهای کلیدی اقتصاد کلان و مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید بخش کشاورزی در ایران را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید به روش پارامتری مانده سولو محاسبه‌شده و تأثیر متغیرها بر بهره‌وری کل عوامل تولید به روش رگرسیون چندکی برآورد شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی و نرخ تورم با یک دوره وقفه دارای اثر منفی و معناداری بربهره‌وری کل عوامل تولید می‌باشند.

مقاله حاضر از چند جهت با مطالعات انجام‌شده قبلی متفاوت است. نخست آنکه بسیاری از مطالعات انجام‌شده، بهره‌وری کل عوامل تولید را با استفاده از نیروی کار و سرمایه بدون تلقی انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌های ضروری تولید محاسبه کرده‌اند. در حالی که جورگنسون (۲۰۰۷) بر نقش اساسی عامل انرژی بر محاسبه بهره‌وری کل عوامل تأکید می‌کند چراکه استفاده از انرژی همواره به کارآمدتر شدن فرآیند تولید از طریق کانال فناوری کمک می‌کند و درنهایت رشد بهره‌وری کل عوامل را افزایش می‌دهد. بر این اساس در این مطالعه در محاسبات مربوط به بهره‌وری کل عوامل تولید و اجزای آن،

1. altinoz

عامل انرژی به‌عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده بهره‌وری کل عوامل تولید در کنار سایر عوامل بکار برده شده است. دوم، بیشتر مطالعات انجام‌شده پیرامون رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید عمدتاً بر تجزیه‌وتحلیل علیت متمرکزشده‌اند و برخی از مطالعات نیز باهدف مطالعه بررسی تأثیر بهره‌وری کل عوامل تولید بر مصرف انرژی صورت گرفته است. در حالی که این مطالعه صرفاً به دنبال جستجوی یک رابطه علیت نیست و به دنبال تحلیل نقش پویای مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در کل بخش صنعت ایران می‌باشد. سوم بیشتر مطالعات انجام‌شده، رابطه خطی بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید را بررسی کرده‌اند در حالی که در این مطالعه ما به دنبال تأثیر غیرخطی و وابسته به رژیم مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بنگاه‌های صنعتی هستیم و این موضوع می‌تواند بینش‌های مربوطه را برای سیاست‌گذاران برای افزایش رشد بهره‌وری در واحدهای صنعتی با توجه به سطوح مختلف مصرف انرژی و همچنین سطح اولیه بهره‌وری کل عوامل تولید آن‌ها ارتقاء دهد.

۳. روش‌شناسی

در این مطالعه، برای محاسبه بهره‌وری کل عوامل در بخش صنعت از روش تحلیل پوششی داده‌ها و از تجزیه شاخص بهره‌وری کل عوامل (بهره‌وری کل عوامل تولید) هیکس – مورستین[1] به اجزای مختلف کارایی که توسط ادانل[2] (۲۰۱۱) انجام شده، بهره گرفته شده است. روش‌شناسی ادانل، که براساس چارچوب مقدار کل ایجاد شده است. به داده‌های قیمت متکی نیست و به فروض درجه رقابت در بازار محصول یا رفتار بهینه‌سازی بنگاه نیازی ندارد. به عبارت دیگر زمانی که اطلاعات قیمت در دسترس نیست و یا صنایع رقابتی نیستند می‌توان با استفاده از این روش به تجزیه‌وتحلیل تغییر بهره‌وری و انواع مختلف کارایی پرداخت.

بهره‌وری در یک بنگاهی که با استفاده از یک نهاده، یک ستانده تولید می‌کند به‌صورت نسبت ستانده به نهاده بیان می‌شود. اما برای یک بنگاه در حالت چند نهاده – چند ستانده می‌توان این مفهوم را با تعریف بهره‌وری کل عوامل (بهره‌وری کل عوامل تولید) به‌صورت نسبت ستانده کل به نهاده کل تعمیم داد. حال اگر بردار مقادیر نهاده و ستانده

1. Hicks- Moorestein
2. O’Donnell

یک بنگاه i در زمان t به ترتیب $\mathbf{X}_{it}$ و $\mathbf{Q}_{it}$ باشد، بهره‌وری کل عوامل تولید بنگاه مورد نظر عبارت است از:

$$TFP_{it} = \frac{Q_{it}}{X_{it}} \quad (۱)$$

به‌طوری‌که $Q_{it} = Q(q_{it})$ ستانده کل، $X_{it} = X(x_{it})$ نهاده کل و $Q(\cdot)$ و $X(\cdot)$ توابع کل هستند که دارای ویژگی‌های غیر منفی، غیر کاهنده و همگن خطی می‌باشند. حال جهت اندازه‌گیری مقدار بهره‌وری کل عوامل تولید بنگاه i در دوره t نسبت به بهره‌وری کل عوامل تولید بنگاه h در دوره s از عدد شاخص زیر استفاده می‌نماییم.

$$TFP_{hs,it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_{hs}} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{Q_{hs}/X_{hs}} = \frac{Q_{hs,it}}{X_{hs,it}} \quad (۲)$$

در رابطه بالا $Q_{hs,it} = Q_{it}/Q_{hs}$ شاخص مقداری ستانده و $X_{hs,it} = X_{it}/X_{hs}$ شاخص مقداری نهاده است. بنابراین می‌توان این‌گونه بیان نمود که رشد بهره‌وری کل عوامل تولید برابر با نسبت مقدار رشد ستانده بر نهاده می‌باشد. با استفاده از توابع تجمیع می‌توان شاخص‌های بهره‌وری کل عوامل تولید مختلفی را به دست آورد. یکی از انواع توابع تجمیع غیر منفی، غیر کاهنده و همگن خطی تابع هیکس – مورستین است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Q(q) = [D_o(x_{hs}, q, s) D_o(x_{it}, q, t)]^{1/2} \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، $D_o(\cdot)$ و $D_I(\cdot)$ توابع مسافت ستانده و نهاده شفارد (۱۹۵۳) هستند. با جایگزین نمودن تابع تجمیع (۳) در روابط (۱) و (۲) شاخص *بهره‌وری کل عوامل تولید* متناظر با آن به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$TFP_{hs,it} = \left(\frac{D_o(x_{hs},q_{it},s)}{D_o(x_{hs},q_{hs},s)} \frac{D_I(x_{hs},q_{hs},s)}{D_I(x_{it},q_{hs},s)} \frac{D_o(x_{it},q_{it},t)}{D_o(x_{it},q_{hs},t)} \frac{D_I(x_{hs},q_{it},t)}{D_I(x_{it},q_{it},t)}\right)^{1/2} \quad (۴)$$

شاخص بالا اولین بار توسط ژورک (۱۹۹۶) مطرح شد اما به‌عنوان شاخص هیکس – مورستین معروف شده است، زیرا میانگین هندسی دو شاخصی است که دایورت (۱۹۹۲) به هیکس (۱۹۶۱) و مورستین (۱۹۶۱) نسبت داده است.

همچنین، انواع شاخص‌های کارایی در اقتصاد می‌تواند به‌صورت نسبتی از مقادیر بهره‌وری کل عوامل تولید تعریف شود. انواع مختلف کارایی را که می‌توان در مورد ستانده و نهاده محاسبه نمود عبارتند از:

(۵) کارایی بهره‌وری کل عوامل تولید $TFPE_{it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_t^*} \leq 1$

(۶) کارایی فنی مربوط به ستانده $OTE_{\mathrm{it}} = \frac{\mathrm{Q_{it}/X_{it}}}{\bar{\mathrm{Q}}_{\mathrm{it}}/\mathrm{X_{it}}} = \frac{\mathrm{Q_{it}}}{\bar{\mathrm{Q}}_{\mathrm{it}}} = \mathrm{D_o}\ (\mathrm{x_{it}}, \mathrm{q_{it}}, \mathrm{t}) \leq 1$

(۷) کارایی مقیاس مربوط به ستانده $OSE_{it} = \frac{\bar{\mathrm{Q}}_{\mathrm{it}}/\mathrm{X_{it}}}{\tilde{Q}_{it}/\bar{X}_{it}} \leq 1$

(۸) کارایی مقیاس مربوط به پسماند ستانده $ROSE_{\mathrm{it}} = \frac{\widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{it}}/\mathrm{X_{it}}}{TFP_t^*} \leq 1$

در روابط بالا TFP_t^* نشان‌دهنده حداکثر مقدار بهره‌وری کل عوامل تولید ممکن با تکنولوژی در دسترس در دوره t است؛ $\bar{Q}_{it} = Q_{it}D_o\ (x_{it}, q_{it}, t)^{-1}$ حداکثر ستانده کل ممکن با استفاده از x_{it} جهت تولید یک بردار عددی از q_{it} است؛ $\bar{X}_{it} = X_{it}D_I\ (x_{it}, q_{it}, t)^{-1}$ حداقل نهاده کل ممکن با استفاده از یک بردار عددی x_{it} برای تولید q_{it} است؛ $\widehat{\mathrm{Q}}_{\mathrm{it}}$ حداکثر ستانده کل ممکن برای تولید هر بردار ستانده با استفاده از x_{it} است؛ $\widehat{\mathrm{X}}_{\mathrm{it}}$ حداقل نهاده کل ممکن برای تولید q_{it} با استفاده از هر بردار نهاده است؛ $\widetilde{\mathrm{Q}}_{\mathrm{it}}$ و $\widetilde{\mathrm{X}}_{\mathrm{it}}$ نیز ستانده و نهاده کل به‌دست‌آمده با استفاده از بیشترین مقدار بهره‌وری کل عوامل تولید هستند با این محدودیت که بردارهای ستانده و نهاده به ترتیب مقادیر عددی q_{it} و x_{it} هستند.

ادانل شاخص‌های بهره‌وری کل عوامل تولید را برحسب اجزاء مقادیر کل همانند معادله (۲) به‌صورت مقادیر حاصل‌ضرب بیان کرد. تمام شاخص‌های بهره‌وری کل عوامل تولید مانند این را می‌توان به معیارهای تغییرات فنی و سایر معیارهای تغییر کارایی تجزیه کرد.

بنابراین معادله (۵) را می‌توان به‌صورت $TFP_{it} = TFP_t^* \times TFPE_{it}$ بازنویسی کرد همین‌طور معادل مشابهی برای بنگاه h در دوره s به صورت $TFP_{hs} = TFP_s^* \times TFPE_{hs}$ برقرار است. بنابراین می‌توان شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید رابطه (۲) را به‌صورت زیر بازنویسی نمود:

$$TFP_{hs,it} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*}\right)\left(\frac{TFPE_{it}}{TFPE_{hs}}\right) \quad (۹)$$

جمله نخست در پرانتز در سمت راست معادله (۹) تغییر در حداکثر بهره‌وری کل عوامل تولید را طی زمان اندازه‌گیری می‌کند. این یک معیار طبیعی تغییر فنی است. جمله دوم

معیاری از تغییر کارایی کلی است. معادلات ۲۸ تا ۴۲ را می‌توان برای تجزیه جزئی‌تر تغییر بهره‌وری کل عوامل تولید به کاربرد. ادانل سه تغییر مبتنی بر ستانده را از شخص بهره‌وری کل عوامل تولید به‌صورت زیر ارائه کرده است:

$$TFP_{hs,it} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*}\right)\left(\frac{OTE_{it}}{OTE_{hs}}\right)\left(\frac{OME_{it}}{OME_{hs}}\right)\left(\frac{ROSE_{it}}{ROSE_{hs}}\right) \quad (۱۰)$$

در اینجا به‌منظور تحلیل تأثیرات مصرف انرژی بنگاه‌ها بر بهره‌وری کل عوامل تولید با استفاده از تجزیه ادانل در شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید، عوامل کارایی فنی مبتنی بر ستانده (OTE)، کارایی مقیاس مبتنی بر ستانده (OSE) و کارایی پسماند مبتنی بر ستانده (ROSE) به‌عنوان عوامل توضیح‌دهنده بهره‌وری کل عوامل تولید در نظر گرفته شده است و سپس مصرف انرژی بنگاه‌ها نیز جهت تحلیل تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در تصریح مدل واردشده است. اما همان‌طورکه همیلتون (۲۰۰۳) و سرلتیس (۲۰۱۰) اشاره می‌کنند روابط بین مصرف انرژی و متغیرهای اقتصادی ممکن است دارای ماهیت غیرخطی باشد. بر این اساس در این مقاله تصریح فوق در یک چارچوب غیرخطی با به‌کارگیری رهیافت وابسته به وضعیت (رژیم) و با استفاده از داده‌های مشاهده‌شده از یک پنل متوازن به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\{y_{it}, q_{it}, x_{it}: 1 \le i \le n, 1 \le t \le T\}$$

که در آن اندیس i نشان‌دهنده مقاطع و t نشان‌دهنده زمان است. متغیر وابسته y_{it} معرف بهره‌وری کل عوامل تولید و یک اسکالر است. متغیر آستانه‌ای q_{it} نیز مصرف انرژی با وقفه و یک اسکالر است و x_{it} نیز یک بردار K از متغیرهای مستقل شامل کارایی فنی مبتنی بر ستانده (OTE)، کارایی مقیاس مبتنی بر ستانده (OSE)، کارایی پسماند مبتنی بر ستانده (ROSE) و مصرف انرژی (EI) به‌عنوان عوامل توضیح‌دهنده بهره‌وری کل عوامل تولید می‌باشد. در اینجا، مصرف انرژی به‌صورت نسبتی از لگاریتم کل ارزش انرژی مصرف‌شده به لگاریتم ارزش محصولات تولیدشده هر صنعت در نظر گرفته‌شده و معادله ساختاری آستانه‌ای برای داده‌های پنل به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y_{it} = \mu_i + \acute{\beta}_1 x_{it} I(q_{it} \le \gamma_1) + \acute{\beta}_2 x_{it} I(\gamma_1 < q_{it} \le \gamma_2) + \acute{\beta}_3 x_{it} I(\gamma_2 < q_{it}) + e_{it} \quad (۱۱)$$

که در آن $I(.)$ تابع شاخص است و آستانه‌ها به‌گونه‌ای مرتب شده‌اند که $\gamma_1 < \gamma_2$ می‌باشد. مشاهدات براساس اینکه متغیر آستانه q_{it} کوچک‌تر از آستانه‌های γ_1 و γ_2 و یا

بزرگ‌تر از آن باشد به سه «رژیم» تقسیم می‌شود. این رژیم‌ها توسط شیب‌های رگرسیون متفاوت β_1 ، β_2 و β_3 متمایز می‌شوند. در اینجا برای هرγ معلوم ، ضریب شیب β را می‌توان با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) برآورد نمود:

$$\hat{\beta}(\gamma) = (X^*(\gamma)'X^*(\gamma))^{-1}X^*(\gamma)'Y^* \qquad (۱۲)$$

که در آن بردار پسماندهای رگرسیون عبارتست از :

$$\hat{e}^*(\gamma) = Y^* - X^*(\gamma)\hat{\beta}(\gamma)$$

و مجموع مربعات خطاها بصورت زیر است:

$$S_1(\gamma) = \hat{e}^*(\gamma)'\hat{e}^*(\gamma) = Y^{*\prime}(I - X^*(\gamma)'\left(X^*(\gamma)'X^*(\gamma)\right)^{-1}X^*(\gamma)')Y^* \qquad (۱۳)$$

سرانجام، برآوردکننده‌های حداقل مربعات γ نیز به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\hat{\gamma} = \underset{\gamma}{\operatorname{argmin}} S_1(\gamma) \qquad (۱۴)$$

در اینجا با استفاده از قابلیت مدل‌های آستانه‌ای دو تصریح متفاوت از رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید (بهره‌وری کل عوامل تولید) بخش صنعت در ایران در نظر گرفته شده است. در تصریح اول رابطه (۱) براساس متغیر آستانه مصرف انرژی در نظر گرفته‌شده و بر آن اساس این سوال مطرح می‌شود که آیا اثرگذاری مصرف انرژی در واحدهای صنعتی بر سطح بهره‌وری آن‌ها می‌تواند به سطوح مختلف مصرف انرژی وابسته باشد؟. در تصریح دوم رابطه (۱) بر پایه متغیر آستانه بهره‌وری کل عوامل تولید تعریف‌شده و بر آن اساس این سوال مطرح می‌شود که آیا اثرگذاری مصرف انرژی در واحدهای صنعتی بر سطح بهره‌وری آن‌ها می‌تواند به سطح اولیه بهره‌وری کل عوامل تولید آن‌ها وابسته باشد؟. برای این منظور و به پیروی از مطالعه هنسن (۱۹۹۸)، از مدل‌سازی رگرسیون‌های آستانه‌ای استفاده‌شده و مقدار با وقفه متغیر مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید به‌عنوان متغیر آستانه در رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولیددر دو معادله جداگانه در نظر گرفته شده است. ازاین‌رو در اینجا مدل‌های رگرسیونی به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده است که ضریب مصرف انرژی، بین رژیم‌های برآورد شده براساس سطح مصرف انرژی و همچنین براساس سطح بهره‌وری کل عوامل صنایع چرخش کند اما ضرایب سایر متغیرهای توضیحی در رژیم‌های مختلف ثابت فرض شده‌اند:

$$TFP_{it} = \beta_0 + \beta_1\, OTE_{i,t} + \beta_2 OSE_{i,t} + \beta_3 ROSE_{i,t} + \beta_4 EI_{i,t-1} I\left(EI_{i,t-1} \le \gamma_1\right) + \beta_5 EI_{i,t-1} I(\gamma_1 < EI_{t-1} \le \gamma_2) + \beta_6 EI_{i,t-1} I(\gamma_2 < EI_{t-1}) + ui\ +\ eit \quad (۱۵)$$

$$TFP_{it} = \beta_0 + \beta_1\, OTE_{i,t} + \beta_2 OSE_{i,t} + \beta_3 ROSE_{i,t} + \beta_4 EI_{i,t-1} I\left(TFP_{i,t-1} \le \gamma_1\right) + \beta_5 EI_{i,t-1} I(\gamma_1 < TFP_{t-1} \le \gamma_2) + \beta_6 EI_{i,t-1} I(\gamma_2 < TFP_{t-1}) + ui\ +\ eit \quad (۱۶)$$

برای تعریف پارامترهای β لازم است که عناصر x_{it} نسبت به زمان نامتغیر نباشند. همچنین فرض می‌کنیم که متغیر آستانه‌ای q_{it} نیز نسبت به زمان نامتغیر نمی‌باشد. فرض می‌شود خطاهای e_{it} به‌صورت مستقل و یکسان (iid) با میانگین صفر و واریانس محدود σ^2 توزیع می‌شوند. فرض iid باعث می‌شود که متغیرهای وابسته با وقفه در x_{it} وارد نشوند. (ابطحی، ۱۴۰۱)

٤. داده‌ها

در این مقاله جهت تحلیل رابطه مصرف انرژی و بهره‌وری عوامل در بخش صنعت ایران از داده‌های نهاده‌های تولیدی شامل نیروی کار، موجودی سرمایه، مواد اولیه و انرژی مصرف‌شده و داده‌های ستانده ارزش محصولات تولیدشده در ۱۱۰ شاخه صنعتی برحسب کدهای چهاررقمی ISIC و براساس نتایج طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر کشور در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۱ استفاده شده است. در این مطالعه به‌منظور استخراج داده‌های موجودی سرمایه از آمار سرمایه‌گذاری کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر استفاده شده است. برای این منظور، از روش تابع‌نمایی استفاده شده و موجودی سرمایه توسط رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$K_{it} = K_{i0} + \sum_{t=1}^{T} (I_{it} + dI_{it}) \quad (۱۷)$$

که در آن K_{it} موجودی سرمایه صنعت i در زمان t و K_{i0} موجودی سرمایه اول دوره است. I_n میزان سرمایه‌گذاری صنعتi در زمان t و dI_{it} میزان استهلاک است. برای محاسبه موجودی سرمایه اول دوره نیز از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$I_t = I_0 e^{\lambda t} \quad (۱۸)$$

که در آن I_{it} میزان سرمایه‌گذاری در زمان t است. I_0 ارزش سرمایه‌گذاری دوره اول یا آغاز دوره وλ نرخ رشد سرمایه‌گذاری است. پس از استخراج داده‌های انباشت سرمایه صنایع، بهره‌وری کل صنایع کشور طی سال‌های موردمطالعه به روش شاخص هیکس- مورستین محاسبه می‌شود.

۵. محاسبه بهره‌وری کل عوامل تولید به روش هیکس- مورستین

در گام نخست با استفاده از داده‌های نهاده‌ها و ستانده‌های معرفی‌شده در بخش داده‌ها، شاخص‌های بهره‌وری و اجزاء آن یعنی کارایی‌های فنی و کارایی‌های مقیاس در تمام صنایع کشور محاسبه شده است. نتایج محاسبه بهره‌وری کل عوامل تولید برحسب روش هیکس - مورستین نشان می‌دهد که صنایع تولیدی مولدهای بخار، چکش‌کاری و پرسکاری و قالب‌زنی، تولید ماشین‌آلات، تولید رایانه و تجهیزات جانبی و تولید قالی و قالیچه دارای بیشترین بهره‌وری کل عوامل تولید طی دوره موردبررسی بوده‌اند و صنایع تکمیل منسوجات، تولید پوشاک، تولید وسایل بازی و اسباب‌بازی، تولید مواد شیمیایی اساسی و تولید لوکوموتیو و راه‌آهن به ترتیب از کمترین میزان بهره‌وری کل عوامل تولید در دوره موردبررسی برخوردار بوده‌اند. درمجموع طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۱، ۲۷ صنعت از رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و ۸۳ صنعت از کاهش شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید برخوردار بوده‌اند.

٦. نتایج تجربی

جدول (۱) نتایج آزمون وجود ریشه واحد متغیرها را برحسب آزمون‌های ایم، پسران و شین و ADF فیشر نشان می‌دهد. آزمون ADF فیشر، فرض می‌کند استقلال مقطعی در مشاهدات وجود دارد در حالی که آزمون ایم، پسران و شین وابستگی مقطعی بین مشاهدات را در نظر می‌گیرد. در محاسبه مقادیر آماره‌های جدول از معیار اطلاعاتی AIC به‌منظور تعیین طول وقفه استفاده شده است. مطابق با نتایج جدول، تمامی متغیرهای به‌کار رفته در مدل‌ها از درجه جمعی صفر برخوردار بوده ($I(0)$) و در سطح ایستا هستند.

جدول ۱. آزمون‌های وجود ریشه واحد

متغیر	ایم، پسران و شین	فیشر ADF
TFP	−۵/۸۱ (۰)	۳۲/۱۶ (۰)
OTE	−۳/۹۹ (۰)	۲۸/۶۷ (۰)
OSE	−٤/۲۳ (۰)	۲۷/۱۲ (۰/۰۲۲)
$ROSE$	−۱۰/٦٤ (۰)	٤۳/۱٤ (۰)
EI	−٦/۸۷ (۰)	۳۱/۲۲ (۰)

– مقادیر داخل پرانتز معرف P-Value آزمون هستند.

– مآخذ: یافته‌های تحقیق

در گام نخست و برای تعیین تعداد آستانه‌ها در روابط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل در قالب معادلات (۱۲) و (۱۳)، آزمون وجود اثرات آستانه‌ای هنسن به کار برده شده و نتایج برای وجود یک تا سه آستانه در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲. آزمون وجود اثرات آستانه‌ای در ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت

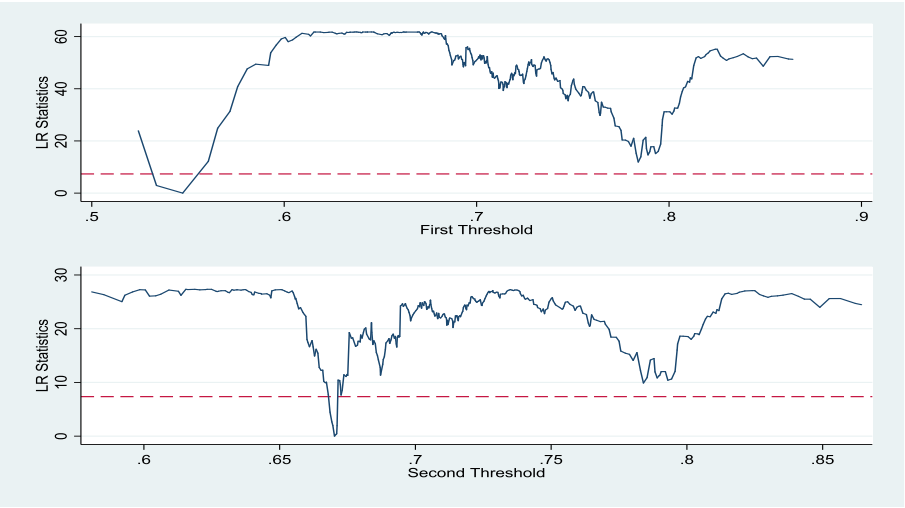
متغیر آستانه	تعداد آستانه	مجموع مربعات خطاها	MSE	F آماره	F ارزش احتمال آماره	مقدار بحرانی در سطح ۵٪
مصرف انرژی EI_{t-1})	۱	۲/۷۷۷۷	۰/۰۰۱٤	۸۳/٦۵	۰	۲۱/٤۹۷۷
	۲	۲/۹۵۷۳	۰/۰۰۱٤	۲۷/٤۳	۰/۰۲	۲۱/۳۵۹۷
	۳	۲/٦۹۷۵	۰/۰۰۱٤	۳۰/٤۹	۰/۵۳	٦٦/۰٤۵۰
بهره‌وری کل عوامل تولید TFP_{t-1})	۱	۲/۳۷۲۲	۰/۰۰۱۲	٤۳۳/٤۱	۰	۲۷/۸٤٦۱
	۲	۲/۱۸۳۹	۰/۰۰۱۱	۱٦۹/۱۵	۰/۰٦۵۰	۲٤/۲٤۹۵
	۳	۲/۱۲۱۸	۰/۰۰۱۱	۵۷/٤۲	۰/۵۰۰۰	۹٦/۱۱۹۷

ماخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به مقادیر آماره‌های آزمون F، مقادیر بحرانی در سطوح مختلف و ارزش احتمال بوت استراپ مربوط به آن‌ها می‌توان پی برد که در مدل (۱۲) و باوجود متغیر

آستانه مصرف انرژی با وقفه (EI_{t-1})، فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود آستانه در مقابل وجود یک آستانه با مقدار آماره F برابر با ۸۳/۶۵، در سطح معنی‌داری یک درصد رد می‌شود. همچنین، با توجه به مقدار آماره F برابر با ۲۷/۴۳ و باوجود مقدار ارزش احتمال بوت استراپ ۰/۰۲، فرضیه صفر وجود یک آستانه در مقابل دو آستانه نیز رد می‌شود. اما با توجه به مقدار عددی ۳۰/۴۹ آماره F و باوجود مقدار ارزش احتمال بوت استراپ ۰/۵۳، فرضیه صفر وجود دو آستانه در مقابل سه آستانه رد نمی‌شود. بنابراین در رابطه (۱۲) یک مدل آستانه‌ای باوجود دو آستانه (و متغیر آستانه مصرف انرژی با وقفه) برآورد می‌شود. اما در مدل (۱۳) فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود آستانه در مقابل وجود یک آستانه با مقدار آماره F برابر با ۴۳۳/۴۱، در سطح معنی‌داری یک درصد رد می‌شود. همچنین، با توجه به مقدار آماره F برابر با ۱۶۹/۱۵ و باوجود مقدار ارزش احتمال بوت استراپ ۰/۰۶۵، فرضیه صفر وجود یک آستانه در مقابل دو آستانه در سطح معنی‌داری ۵ درصد رد نمی‌شود بنابراین در رابطه (۲) یک مدل آستانه‌ای باوجود یک آستانه (و متغیر آستانه TFP_{t-1}) برآورد می‌شود. نتایج برآورد معادلات (۱۲) و (۱۳) در جدول (۳) آورده شده است. همچنین در نمودار (۱) نیز فاصله اطمینان آستانه‌های برآورد شده توسط آماره LR نیز قابل‌مشاهده است. در این نمودار خط نقطه‌چین، به مقدار بحرانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اشاره می کند.

نمودار ۱. فاصله اطمینان آستانه‌های برآورد شده توسط آماره LR



ماخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌گونه که نتایج برآورد مدل دو آستانه‌ای در ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل باوجود متغیر آستانه مصرف انرژی نشان می‌دهد مقادیر آستانه مربوط به مصرف انرژی صنایع در آستانه پایین ۰/۵۴۷ و در آستانه‌بالا ۰/۶۷۰ هست و تأثیر وابسته به رژیم مصرف انرژی در رژیم پایین مصرف انرژی صنایع ($EI_{t-1} \leq 0.547$) برابر با ۰/۱۷۷-، در رژیم میانی ($0.542 < EI_{t-1} \leq 0.670$) برابر با ۰/۳۱- و در رژیم بالای مصرف انرژی ($EI_{t-1} > 0.670$) برابر با ۰/۲۸۴- برآورد شده است. از طرف دیگر، ضرایب متغیر مصرف انرژی در هر سه رژیم پایین، میانی و بالای مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید منفی و معنی‌دار هستند. بنابراین تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، یک اثر وابسته به وضعیت یا وابسته به رژیم مصرف انرژی است. و تأثیرپذیری بهره‌وری کل عوامل تولید صنایع از مصرف انرژی به‌صورت خطی تغییر نمی‌کند بلکه به سطح اولیه میزان مصرف انرژی صنایع وابسته است. ازآنجاکه در اینجا، مصرف انرژی به‌صورت نسبتی از لگاریتم کل ارزش انرژی مصرف‌شده به لگاریتم ارزش محصولات تولیدشده هر صنعت در نظر گرفته‌شده، برآورد آستانه‌های مصرف انرژی نشان‌دهنده آن است که چنانچه نسبت لگاریتم کل ارزش انرژی مصرف‌شده به لگاریتم ارزش محصولات تولیدشده در بخش صنعت ایران از ۰/۵۴۲ کمتر باشد اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید، ۰/۱۷۷- است اما با افزایش این نسبت از سطح ۰/۵۴۲ اثر منفی مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید شدت می‌گیرد و در رژیم بالای مصرف انرژی یعنی زمانی که نسبت لگاریتم کل ارزش انرژی مصرف‌شده به لگاریتم ارزش محصولات تولیدشده از ۰/۶۷ تجاوز کند تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید به ۰/۲۸۴- افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر با افزایش سطح مصرف انرژی، تأثیر منفی مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت می‌تواند تا ۱/۶ برابر بیشتر شود.

جدول ۳. برآورد اثرات خطی و غیرخطی (وابسته به رژیم) مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت

	مدل‌های غیرخطی (آستانه‌ای)		مدل خطی
ضرایب	متغیر آستانه مصرف انرژی	متغیر آستانه بهره‌وری کل عوامل تولید	
$(EI_{t-1} \leq \gamma_1)$	−۰/۱۷۷***	−۰/۲۸۹***	−۰/۲۸۹***
رژیم پایین	(۰/۰۵۲)	(۰/۰۲۹)	
$(\gamma_1 < EI_{t-1} \leq \gamma_2)$	−۰/۳۱۵***		(۰/۰۳۲)
رژیم میانی	(۰/۰۴۲)		
$(EI_{t-1} > \gamma_2)$ رژیم بالا	−۰/۲۸۴***	−۰/۰۶۳*	
	(۰/۰۳۸)	(۰/۰۳۱)	
OTE	۰/۹۷۰***	−۰/۱۲۸**	۰/۱۲۷ *
	(۰/۰۴۸)	(۰/۰۶۵)	(۰/۰۷۲)
OSE	۰/۵۵۳***	۰/۴۲۷***	۰/۵۳۶***
	(۰/۱۰۹)	(۰/۱۰۱)	(۰/۱۱۲)
$ROSE$	−۱/۹۴۲	−۱/۸۱۰	−۱/۹۴۸***
	(۰/۰۱۵)***	(۰/۰۱۶)***	(۰/۰۱۵)
$Constant$	۲/۶۵ *	۲/۶۶ *	۲/۶۸۴***
	(۰/۱۵۸)	(۰/۱۴۶)	(۰/۱۶۱)
γ_1	۰/۵۴۷ [۰/۵۲۸ ۰/۵۶۱]	۱/۵۸۵ [۱/۶۷۰ ۱/۵۹۷]	
γ_2	۰/۶۷۰ [۰/۶۶۸ ۰/۶۷۱]		
تعداد مشاهدات	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۱۹۸۰
R^2	٪۹۳	٪۹۱	٪۹۲
آماره F	۳۰۱۲/۲۳	۴۲۵۴/۴	۴۲۷۳/۷
ارزش احتمال آماره F	۰۰۰	۰۰۰	۰۰۰
AIC	−۷۳۹۲/۹	−۷۶۸۸/۵	−۷۲۹۵/۴
BIC	−۷۳۵۳/۸	−۷۶۵۵	−۷۲۶۷/۴

ماخذ: یافته‌های تحقیق

از طرف دیگر، نتایج برآورد مدل تک آستانه‌ای معادله (۱۳) در جدول (۳) پیرامون ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل باوجود متغیر آستانه بهره‌وری نشان

می‌دهد مقدار آستانه مربوط بهره‌وری صنایع ۱/۵۸۵ هست و تأثیر وابسته به رژیم مصرف انرژی در رژیم پایین بهره‌وری صنایع ($EI_{t-1} \leq 1.585$) برابر با ۰/۲۸۹-، و در رژیم بالای بهره‌وری ($EI_{t-1} > 1.585$) برابر با ۰/۰۶۳- برآورد شده است. همچنین، ضرایب متغیر مصرف انرژی در هر دو رژیم پایین و بالای بهره‌وری بر بهره‌وری کل عوامل تولید منفی و معنی‌دار هستند. بنابراین تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، یک اثر وابسته به وضعیت یا وابسته به رژیم بهره‌وری کل عوامل تولید نیز هست و تأثیرپذیری بهره‌وری کل عوامل تولید صنایع از مصرف انرژی به‌صورت خطی تغییر نمی‌کند بلکه به سطح اولیه میزان بهره‌وری کل عوامل تولید صنایع وابسته است. در وضعیت‌ها یا رژیم‌های پایین بهره‌وری، اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید، ۰/۲۸۹- است اما در وضعیت‌ها یا رژیم‌های بالای بهره‌وری، اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید تا ۰/۰۶۳- کاهش می‌یابد. بنابراین صنایع با بهره‌وری بالاتر از تأثیر منفی بسیار کمتری از مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید خود برخوردار هستند.

مطابق با روش‌شناسی مطالعه، تأثیر متغیرهای کارایی فنی مبتنی بر ستانده (OTE)، کارایی مقیاس مبتنی بر ستانده (OSE) و کارایی پسماند مبتنی بر ستانده (ROSE) بر بهره‌وری کل عوامل تولید در هردو رابطه (۱۲) و (۱۳) کاملاً معنی‌دار هستند. و وجود R^2 بالا در مدل‌ها تأثیر توضیح دهندگی این اجزا در بهره‌وری کل عوامل صنایع را به‌خوبی نشان می‌دهد. مقایسه نتایج مدل‌های آستانه‌ای (۱۲) و (۱۳) با مدل خطی برآورد شده به روش اثرات ثابت در جدول (۳) گویای آن است که تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید صنایع در مدل خطی ۰/۲۸۹- و در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین مقایسه برآورد تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید صنایع در مدل‌های آستانه‌ای و خطی نشان می‌دهد که برآورد این اثرات با مدل‌های آستانه‌ای، معیارهای اطلاعاتی AIC و BIC را کاهش داده است. اما به‌هرحال، آزمون اثرات آستانه‌ای هنسن وجود آستانه‌ها را در تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید صنایع تأیید می‌کند.

۷. نتیجه‌گیری

تاکنون مطالعات بسیاری ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را موردبررسی قرار داده‌اند، با این حال، پیرامون ارتباط بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل مطالعه

چندانی صورت ن گرفته است. اما بررسی نتایج حاصل شده از مطالعات صورت گرفته در این حوزه نشان می‌دهد که توافق چندانی درخصوص اثرات مصرف انرژی بر متغیرهای تولید، رشد اقتصادی و بهره‌وری وجود ندارد چراکه رابطه متقابل بین مصرف انرژی و متغیرهای اقتصادی ممکن است دارای ماهیت غیرخطی باشند. در این مطالعه، رابطه بین مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت در ایران با استفاده از روابط غیرخطی از نوع آستانه‌ای موردبررسی قرار گرفته است.

نتایج برآورد یک مدل دو آستانه‌ای در نمونه‌ای شامل داده‌های مربوط به ۱۱۰ شاخه صنعتی طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۱ نشان می‌دهد تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، یک اثر وابسته به وضعیت یا وابسته به رژیم مصرف انرژی است و ضرایب متغیر مصرف انرژی در همه رژیم‌ها بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، منفی و معنی‌دار هستند. این یافته‌ها با نتایج مطالعه توگسو (۲۰۱۳) در اقتصاد ترکیه و راس و همکاران (۲۰۱۶) برای پنلی از ۳۶ کشور در حال توسعه و آمریکای لاتین، کاملا منطبق است. نیز چنانچه نسبت ارزش انرژی مصرف شده به ارزش محصولات تولیدشده در بخش صنعت ایران از آستانه مشخصی تجاوز کند تأثیر منفی مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید شدت می‌گیرد و با افزایش سطح مصرف انرژی، تأثیر منفی مصرف انرژی بر بهره‌وری در بخش صنعت می‌تواند تا ۱/۶ برابر بیشتر شود. همچنین، تأثیر مصرف انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت، یک اثر وابسته به وضعیت یا وابسته به رژیم بهره‌وری کل عوامل تولید نیز هست و تأثیرپذیری بهره‌وری صنایع از مصرف انرژی به‌صورت خطی تغییر نمی‌کند بلکه به سطح اولیه میزان بهره‌وری صنایع وابسته است. به‌گونه‌ای که در وضعیت‌ها یا رژیم‌های پایین بهره‌وری، اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری صنایع قابل‌توجه است اما در وضعیت‌ها یا رژیم‌های بالای بهره‌وری، اثر مصرف انرژی بر بهره‌وری تا حد زیادی کاهش می‌یابد. ازاین‌رو صنایع با بهره‌وری بالاتر از تأثیر منفی بسیار کمتری از مصرف انرژی بر بهره‌وری خود برخوردار هستند.

بنابراین در آستانه‌های متفاوت مصرف انرژی و بهره‌وری، تأثیر کاملاً متفاوتی از اثرگذاری مصرف انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید بر سطح بهره‌وری کل عوامل ایجاد می‌شود این‌یک موضوع مهم است چراکه نشان می‌دهد ازآنجاکه صنایع به لحاظ سطح بهره‌وری کل عوامل تولید وضعیت‌های متفاوتی دارند موقعیت و وضعیت اولیه آن‌ها

ازنظر سطح بهره‌وری می‌تواند اثرگذاری مصرف انرژی بر عملکرد آن‌ها را توضیح دهد. چنین نتیجه‌ای می‌تواند دلالت‌های سیاستی مشخص درخصوص طراحی و اجرای سیاست‌های مربوط به انرژی ارائه دهد. نمونه بارز این موضوع، سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی در صنایع است. آنچه مشخص است یکی از موضوعات اساسی چالش‌برانگیز امروز اقتصاد ایران، موضوع قیمت‌گذاری انرژی در صنایع است چراکه اعطای یارانه انواع حامل‌های انرژی در بخش صنعت، فشار زیادی بر بودجه دولت وارد کرده است. اما سیاست‌های قیمت‌گذاری در بخش انرژی به‌صورت خطی و بدون ملاحظه سطوح بهره‌وری اثرگذاری مصرف انرژی بر عملکرد صنایع صورت می‌گیرد و بر این اساس، حذف تدریجی یارانه حامل‌های انرژی در ایران به‌منظور کاهش اثرات آن بر بودجه عمومی کشور نیازمند توجه به اثرات آستانه‌ای مصرف آن بر بهره‌وری و عملکرد هر صنعت است.

در سیاست‌های قیمت‌گذاری در بخش انرژی لازم است آستانه‌های مصرف برآورد شده مد نظر قرار گیرد. در بنگاه‌هایی که مصرف فعلی انرژی آنها از بالاترین آستانه برآورد شده بیشتر است و از نظر مصرف در رژیم بالای مصرف انرژی قرار دارند، مصرف انرژی بیشتر، بهره‌وری کل عوامل تولید این بنگاه‌ها را در حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. بنابراین ارتقاء بهره‌وری در این بنگاه‌ها نیازمند توجه به سیاست‌ها و اقدامات کاهش‌دهنده مصرف انرژی است و بدون توجه به اصلاح فرآیند تولید در جهت کاهش مصرف انرژی، بهره‌وری بهبود نمی یابد. حتی ادامه سیاست‌های اعطای یارانه انرژی به این بنگاه‌ها به منزله تسریع روند کاهش بهره‌وری این بنگاه‌ها به شمار می‌رود و دولت با اعطای یارانه انرژی به این بنگاه‌ها نه تنها کمکی در جهت افزایش بهره‌وری نکرده است بلکه در واقع به کاهش بهره‌وری این بنگاه‌ها دامن زده است. همچنین سیاست‌های قیمت گذاری انرژی در بخش صنعت نیازمند توجه به سطوح بهره‌وری کل عوامل تولید بنگاه‌ها است. چرا که در بنگاه‌هایی با سطوح بهره‌وری کل عوامل تولید بالاتر، مصرف انرژی اثر چندانی بر بهره‌وری کل عوامل تولید ندارد. اما تأثیر مصرف انرژی بر کاهش بهره‌وری در بنگاه‌های با سطوح بهره‌وری پایین بیشتر است. بنابراین تخصیص یارانه‌ها به بنگاههای صنعتی براساس سطح بهره‌وری آنها می‌تواند در جهت ارتقاء بهره‌وری بخش صنعت کمک کند.

۸. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

۹. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از نظرات ارزشمند داوران گرامی در راستای بهبود کیفی مقاله سپاسگزاری می‌نمایند.

ORCID

Seyed Ali Emami	https://orcid.org/0000-0002-2077-4228
Seyed Yahya Abtahi	https://orcid.org/0000-0003-3043-0151
Zohreh Tabatabaienasab	https://orcid.org/0000-0002-4034-5439
Mohammad Ali Dehghan Tafti	https://orcid.org/0000-0005-2641-1793

۱۰. منابع

ابطحی، سید یحیی. (۱۴۰۱). *اقتصاد سنجی مدلهای چرخش رژیم (نظریه و کاربرد)، مدلهای آستانه‌ای*. جلد اول، انتشارات نور علم.

انوشه‌پور، آمنه؛ مقدسی، رضا؛ محمدی‌نژاد، امیر و یزدانی، سعید. (۱۳۹۹). بررسی رابطه مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید کشاورزی با کاربرد رهیافت رگرسیون چندک در بخش کشاورزی ایران .*پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، (۳۴)۹، صفحات ۸۵-۶۵.

اویسی، محمد؛ همایونی‌فر، مسعود؛ مصطفوی، سیدمهدی و ناجی میدانی، علی‌اکبر. (۱۴۰۰). اثر تغییرات بهره‌وری بخش‌های اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، انرژی گرمایی، رشد و توسعه اقتصادی. *فصلنامه علمی مدلسازی اقتصادی*، (۵۴)۱۵ ۷۶-۶۷.

References

Abtahi, Seyed Yahya (2022*) econometrics of regime switching models (theory and application) threshold model*. vol.1, Noor Elm publication. [In Persian]

Akinlo A. E. (2008). Energy consumption and economic growth: evidence from 11 Sub-Sahara African countries. *Energy Economics*, 30 (5), pp. 2391-2400.

Altınöz, B. (2021). The Effect of Renewable and Fossil Fuel Energy Consumption on Total Factor Productivity in G20 Countries. *Journal of Research in Economics, Politics & Finance, Ersan ERSOY*, vol. 6 (SI), pp.54-64.

Anooshe pour, Ameneh, Moghdasi Reza, Mohamadi Nejad Amir, & Yazdani, Saeed (2020), examining relationship between energy consumption and total factor productivity using quantile regression approach in Iran agricultural sector, *Iranian energy economy research journal*, (34) 9 doi: 10.22054/jiee.85-65, 2021.56060.1789. [In Persian]

Apergis, N., Payne J. E. (2009). Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy Economics*, 31 (2), pp.211-216.

Belloumi M. (2009). Energy consumption and GDP in Tunisia: Cointegration and causality analysis. *Energy Policy*, 37 (7), pp.2745-2753.

Berndt, E.R. (1990). Energy use, technical progress and productivity growth: A survey of economic issues. *Journal of Productivity Analysis*, 2, pp. 67-83.

Bruns, S.B., Gross, C. and Stern, D.I. (2014). Is There Really Granger Causality Between Energy Use and Output?. *Energy Journal*. 35, pp.101-134.

Deichmann, U., Reuter, A., Vollmer, S. and Zhang, F. (2018). Relationship between Energy Intensity and Economic Growth : New Evidence from a Multi-Country Multi-Sector Data Set. Policy Research Working Paper;No. 8322. *World Bank*, Washington, DC.

Denison, E.F. (1985), *Trends in American Economic Growth*, 1929-1982. Washington: Brookings Institution.

Erdal, G., Erdal, H., and Esengün, K. (2008). The causality between energy consumption and economic growth in Turkey. *Energy Policy*, 36 (10), pp.3838-3842.

Francis, B. M., Moseley, L. and Iyare, S. O. (2007). Energy consumption and projected growth in selected Caribbean countries. *Energy Economics*, 29 (6), pp.1224-1232.

Glasure, Y. U. (2002). Energy and national income in Korea: Further evidence on the role of omitted variables. *Energy Economics*, 24 (4), pp.355-365.

Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37 (3), pp. 1156-1164.

Hamilton, J. D. (2003). What is an oil shock?. *Journal of Econometrics*, 113, pp.363-398.

Hansen, B. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing and inference. *Journal of Econometrics*, 93 (2), pp. 345-368.

Ho, C-Y. and Siu, K. W. (2007). A dynamic equilibrium of electricity consumption and GDP in Hong Kong:An empirical investigation. *Energy Policy*, 35 (4), pp.2507-2513.

Huang, B. N., Hwang, M. J. and Yang C. W. (2008). Does more energy consumption bolster economic growth? An application of the nonlinear threshold regression model. *Energy Policy*, 36 (2), pp.755-767.

Jarvis, A. (2018). Energy Returns and The Long-run Growth of Global Industrial Society. *Ecological Economics*, 146, pp. 722-729.

Jerzmanowski, M. (2007). Total Factor Productivity Differences: Appropriate Technology vs. Efficiency. *European Economic Review*, 51 (8), pp.2080-2110.

Jorgenson, D.W. (1984). The Role of Energy in Productivity Growth. *American Economic Review*,74 (2), pp.26-30.

Kraft J., Kraft A. (1978). On the relationship between energy and GNP. Journal of Energy and Development,3, pp.401-403.

Ladu, M.G. and Meleddu, M. (2014). Is there any relationship between energy and TFP (total factor productivity)? A panel cointegration approach for Italian region. *Energy*,75, pp. 560-567.

Lee C. C. and Chang C. P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30, pp.50-65.

Lee, C. C. and Chang, C. P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30, pp.50-65.

Lee, C. C. and Chang, C. P. (2008). Energy consumption and GDP revisited: A panel analysis of developed and developing countries. *Energy Economics*, 29 (6), pp.1206-1223.

Oh, W. and Lee, K. (2004). Causal relationship between energy consumption and GDP: The case of Korea. 1970-1999. *Energy Economics*, 26 (1), pp.51-59.

Oveisei, Mohamad, Homayooni far, Masoud, Moustafavi seyed mahdi, Naji Meydani, Ali Akbar (2021). The effect of economic sectors productivity changes on the consumption of renewable and non-renewable energy, thermal energy, economic growth and development. *Economic Modeling Scientific Quarterly*, 15 (54), pp.67-76. [In Persian]

Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*, 38 (1), pp.340-349.

Parker, S. and Liddle, B. (2017). Analyzing Energy Productivity Dynamics in the OECD manufacturing sector. *Energy Economics*, vol. 67 (C), pages 91-97.

Payne, J. E. (2009). On the dynamics of energy consumption and output in the US. *Applied Energy*,86 (4), pp.575-577.

Rahman, M.S., Shahari, f. and Noman, A.H. (2017). The interdependent relationship between sectoral productivity and disaggregated energy consumption in Malaysia: Markov Switching approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp. 752-759.

Rahman, S. and Serletis , A. (2010). The asymmetric effects of oil price and monetary policy shocks: A nonlinear. VAR approach. *Energy Economics*, 32 (6), pp.1460-1466.

Rath, B.N., Vaseem, A.D. Prasad, D. and Mahalik, M.K. (2019). Do fossil fuel and renewable energy consumption affect total factor productivity growth? Evidence from cross-country data with policy insights. *Energy Policy*, 127, pp. 186-199.

Stern, D. I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics*, 22 (2), pp.267-283.

Tugcu, C. and Tiwari, A. (2016). Does renewable and/or non-renewable energy consumption matter for total factor productivity (TFP) growth? Evidence from the BRICS. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65 (c), pp.610-616.

Tuğcu, C. T. (2013). Disaggregate energy consumption and total factor productivity: A cointegration and causality analysis for the Turkish economy. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3 (3), pp.307-314.

Van der Werf, E. (2008). Production functions for climate policy modeling: An empirical analysis. *Energy Economics*. 30, pp.2964-2979.

Wolde-Rufael Y. (2004). Disaggregated industrial energy consumption and GDP: The case of Shanghai. *Energy Economics*, 26 (1), pp.69-75.

Wrigley, E. (2016). *The Path to Sustained Growth: England's Transition from and Organic Economy to an Industrial Revolution*. Cambridge University Press.

Zha, D. and Zhou, D. (2014). The elasticity of substitution and the way of nesting CES production function with emphasis on energy input. *journal of Applied Energy*. 130, pp. 793-798.

استناد به این مقاله: امامی، سیدعلی؛ ابطحی، سید یحیی؛ طباطبایی‌نسب، زهره؛ دهقان‌تفتی، محمدعلی. (۱۴۰۲). تحلیل پویاییهای مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش صنعت ایران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴۶ (۱۲)، ۴۳-۶۷.

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