-- Iranian Journal of Economic Research---------
Volume 28, Issue 97, Winter 2024, 6-43
ijer.atu.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.22054/ijer.2024.76778.1233

ATU PRESS

Original Research Received: 16/11/2023 Revised: 11/1/2024 Accepted: 13/2/2024 ISSN: 1726-0728 eISSN:2476-6445

Decoupling Dynamism of Energy Consumption, Economic Growth, and Pollution in Iran: New Evidence from Factor Analysis at Triple Levels of Energy

Saeed Rasekhi* Professor in Economics, Department of Energy Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Sara Ghanbartabar M.A. in Energy Economics, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Abstract

The utilization of natural resources, particularly energy, is essential for economic well-being. However, the increasing consumption of economic resources raises concerns about sustainable development. This study aimed to investigate the dynamic decoupling of economic growth, energy consumption, and pollution in Iran from 2000 to 2020, employing the method proposed by Tapio (2005) and factor analysis on three levels of energy consumption (i.e., primary, final, and useful). The findings revealed that economic growth is often associated with negative decoupling, with this negative decoupling being more pronounced in useful and final energies compared to primary energy. Decomposing energy consumption further confirmed negative decoupling in various energy components. Additionally, the study confirmed weak decoupling between energy consumption and pollution (CO_2 emissions), with stronger negative decoupling observed at lower energy levels. Furthermore, the decoupling of economic growth and pollution closely mirrors the decoupling of economic growth and energy consumption. The negative decoupling can be attributed to the inefficiency in energy consumption, limited access to new technologies, and the lack of appropriate structures due to the absence of a specific strategy for sustainable development. The research recommends the

* Corresponding Author: srasekhi@umz.ac.ir

How to Cite: Rasekhi, S. & Ghanbartabar, S. (2024). Decoupling Dynamism of Energy Consumption, Economic Growth, and Pollution in Iran: New Evidence from Factor Analysis at Triple Levels of Energy, *Iranian Journal of Economic Research*, *28*(97), 6-43.

prioritization of energy efficiency across different energy levels as well as the investment in infrastructure and energy technology.

1. Introduction

Economic growth is intricately linked to the consumption of natural resources, with these scarce and costly resources serving as the primary catalyst for the development and acceleration of economic growth process in modern societies (Song et al., 2019; Song et al., 2020; Zhang et al., 2018). Meanwhile, the production and consumption of energy resources are associated with significant social costs and diminished welfare (Feng et al., 2020a; Feng et al., 2020b; Li et al., 2018; Rjoub et al., 2021; Wang et al., 2020). The world grapples with the challenge of balancing economic development and energy consumption (Bradshaw, 2010). Despite the looming threat of global warming, many countries, particularly developing nations, have prioritized economic development over environmental conservation (Shah et al., 2016). Consequently, decoupling energy consumption from economic growth is widely recognized as a significant achievement in the global effort to combat climate change and mitigate adverse environmental effects. The experience of developed countries instill hope for overcoming resource scarcity and growth limitations, as well as fostering green and sustainable economic growth. While relative decoupling has been achieved in numerous countries, absolute decoupling remains challenging and seemingly unattainable (Hickel & Kallis, 2020). In this respect, the present study aimed to scrutinize the decoupling dynamics of economic growth, energy consumption, and pollution in Iran from 2000 to 2020, employing the method proposed by Tapio (2005) as well as factor analysis across three energy levels.

2. Materials and Methods

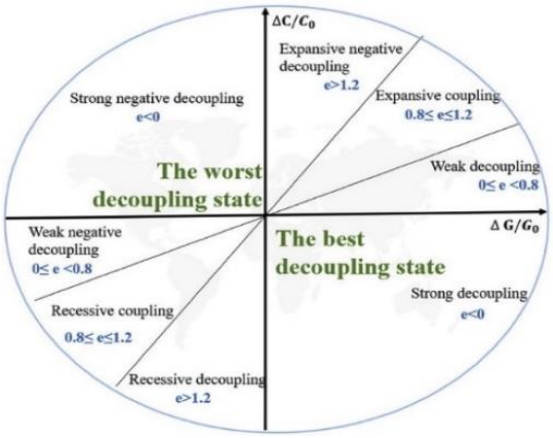
The study followed the method proposed by Tapio (2005) in order to calculate the decoupling between energy consumption and economic growth. First, the decoupling elasticity coefficient was calculated as outlined below:

$$e(E) = \frac{\Delta E_t / E_{t-1}}{\Delta G_t / G_{t-1}} \quad (1)$$

e(E) is the elasticity coefficient of decoupling between economic growth and energy consumption. ΔE represents changes in energy consumption during the time period under study. E (t-1) indicates energy consumption in the base year. ΔG refers to changes in GDP per

capita during the time period, and G (t-1) indicates the GDP per capita in the base year (Wang & Zhang, 2021). In the method proposed by Tapio (2005), eight decoupling states can be distinguished (Figure 1).

Figure 1. Decoupling states



The present study conducted a more comprehensive analysis of decoupling by using factor analysis at various energy levels. In this line, the consumption across three energy levels (primary, final, useful) was divided into three distinct effects: activity (production rate), structural (change of economic structure), and intensity (technology effect). The logarithmic mean division method and each of these effects were used as follows:

$$\Delta Q = \sum_i \frac{E_{it} - E_{i0}}{ln\, E_{it} - ln\, E_{i0}} ln\left(\frac{Q_t}{Q_0}\right) \quad (2)$$

$$\Delta S = \sum_i \frac{E_{it} - E_{i0}}{ln\, E_{it} - ln\, E_{i0}} ln\left(\frac{S_{it}}{S_{i0}}\right) \quad (3)$$

$$\Delta I = \sum_i \frac{E_{it} - E_{i0}}{ln\, E_{it} - ln\, E_{i0}} ln\left(\frac{I_{it}}{I_{iO}}\right) \quad (4)$$

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta S + \Delta I \quad (5)$$

The study also divided economic activities into several categories: agriculture, services, industry, residential, and transportation. This categorization aligns with the most feasible separation based on the available data and statistical classifications within domestic data sources. In Iran's energy balance, although household, public, and commercial sectors are categorized under one group, these sectors were

individually reported, and the residential sector was distinguished from the commercial and public sector (as the service sector).

3. Results and Discussion

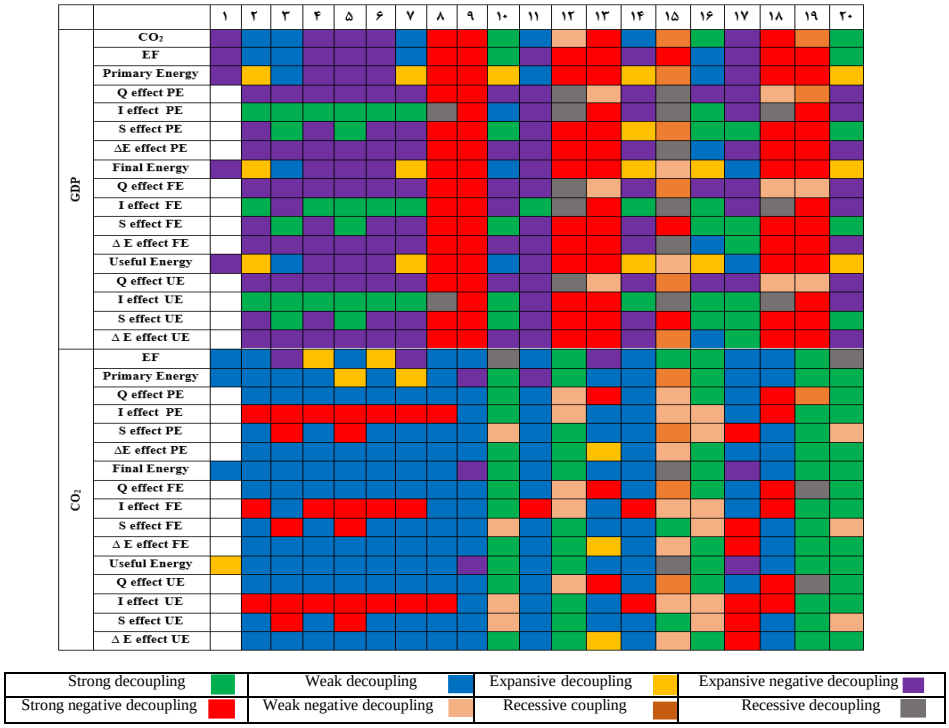
Figure 2 presents the decoupling dynamics of Iran's economic growth, energy consumption, and carbon dioxide emissions during 2000–2020. The figure is divided into two parts focused on various energy levels for different components: the first part depicts the decoupling of economic growth and energy consumption, while the second part shows the decoupling of energy consumption from carbon dioxide emissions. As show in Figure 2, the decoupling of economic growth and carbon dioxide follows a pattern similar to and influenced by the decoupling process between economic growth and fossil energy consumption. The decoupling of economic growth and fossil energy consumption aligns with changes in decoupling at different energy levels (primary, final, and useful), reflecting the significant share of fossil energy in Iran's overall energy consumption. Figure 2 also highlights the weak decoupling between fossil energy consumption and carbon dioxide, which can be attributed to the nature of fossil fuel pollution. Consequently, the decoupling of economic growth from carbon dioxide is influenced by fossil energy consumption.

The first part of Figure 2 reveals various forms of negative decoupling (expansive negative, weak negative, and strong negative) concerning economic growth and energy consumption. Correspondingly, the second part indicates a generally weak decoupling for different energy levels and carbon dioxide emissions. Within the energy consumption components, the intensity component exhibits strong decoupling, though it fluctuates, sometimes displaying positive decoupling (weak, recessive, and strong) and occasionally negative decoupling (expansive and strong negative)—which can be caused by the drop in technology. This finding aligns with the second part of Figure 2, where the decoupling of the intensity component and carbon dioxide experiences fluctuations. Notably, the structural component in the first part of Figure 2 exhibits the strongest negative decoupling from economic growth, signifying a change in Iran's economic structure that has exacerbated the decoupling between energy consumption and economic growth. However, the decoupling of the structural component and carbon dioxide, as depicted in the second part of Figure 2, remains within the range of weak but fluctuating decoupling.

Finally, the first part of Figure 2 indicates that economic growth is often associated with negative decoupling (expansive and strong negative) from total energy consumption. Despite weak decoupling in

initial periods and subsequent fluctuations, the last two years show strong decoupling between total energy consumption and carbon dioxide. Overall, Figure 2 illustrates a fluctuating trend in the decoupling of economic growth and energy consumption over time, predominantly featuring negative decoupling, which corresponds to the decoupling trend between energy consumption and carbon dioxide. Among the components of energy consumption, the intensity component exhibits strong negative decoupling, while the structural component displays weak decoupling, both characterized by fluctuating patterns. This fluctuation may stem from the absence of a specific plan and strategy to decouple economic growth, energy consumption, and carbon dioxide.

Figure 2. Decoupling of economic growth, energy consumption, and carbon dioxide emission in Iran during 2000–2020



4. Conclusion

Using the method proposed by Tapio (2005) and factor analysis across three energy levels, the present study investigated the dynamics of decoupling economic growth, energy consumption, and pollution in

Iran during 2000–2020. The findings underscored challenges faced by the policy aimed at reducing energy consumption, which is primarily due to the dependency of Iran's economy on energy. Specifically, the research showed the dependency of Iran's economy on energy on energy consumption across all three levels: primary energy, final energy, and useful energy. Moreover, the results highlighted a low degree of energy efficiency, particularly at higher energy levels (secondary and useful). Considering the relation between environmental pressure and restrictions on economic growth, there is a pressing need to address energy intensity and energy efficiency to strike a balance between economic growth and energy consumption. The observed negative decoupling in structural, intensity, and activity effects suggests a lack of a specific strategy in Iran's economy concerning the decoupling and balance between energy consumption and economic development. In light of these findings, it is imperative to focus on enhancing energy consumption efficiency across diverse energy levels. Additionally, the study recommends prioritizing more effective decoupling in sustainable development policies concerning energy consumption, economic growth, and pollution.

Keywords: Decoupling, Factor Analysis, Energy Levels, Tapio, Iran.

JEL Classification: C43, O4, Q4.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

ISSN:۱۷۲۶-۰۷۲۸ eISSN:۲۴۷۶-۶۴۴۵

-- پژوهش‌های اقتصادی ایران ---------

دوره ۲۸، شماره ۹۷، زمستان ۱۴۰۲، ۶-۴۳

ijer.atu.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22054/ijer.2024.76778.1233

پویایی جداسازی مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی در ایران: شواهد جدید از رویکرد تحلیل عاملی در سطوح سه‌گانه انرژی

سعید راسخی* استاد گروه اقتصاد انرژی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

سارا قنبرتبار کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

به‌کارگیری منابع طبیعی به‌ویژه انرژی برای رفاه اقتصادی ضروری است، با این حال، مصرف فزاینده این منابع موجب نگرانی‌های توسعه پایدار شده است. هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی پویایی جداسازی رشد اقتصادی، مصرف انرژی و دی‌اکسیدکربن در ایران طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ با استفاده از روش تاپیو[1] (۲۰۰۵) و رویکرد تحلیل عاملی با تمرکز بر سه سطح از مصرف انرژی (اولیه، نهایی و مفید) است. براساس نتایج تحقیق حاضر، نخست، رشد اقتصادی ایران طی دوره زمانی مورد بررسی اغلب با جداسازی‌های منفی (در هر سه سطح انرژی) همراه شده است. این جداسازی منفی در انرژی مفید و انرژی نهایی نسبت به انرژی اولیه قوی‌تر ظاهر شده است. با تجزیه مصرف انرژی، جداسازی منفی در مؤلفه‌های مختلف انرژی نیز تأیید شده است. دوم، جداسازی ضعیف بین مصرف انرژی و آلودگی (انتشار CO_2) که طی دوره مورد بررسی و در سطوح مختلف انرژی تأیید شده است، شدت جداسازی منفی انرژی از آلودگی در سطوح پایین‌تر انرژی قوی‌تر بوده است. سوم، جداسازی رشد اقتصادی و آلودگی شباهت زیادی به جداسازی رشد اقتصادی و مصرف انرژی دارد. به نظر می‌رسد عدم کارایی در مصرف انرژی، عدم دسترسی به تکنولوژی‌های نوین و نبود ساختارهای مناسب که می‌تواند ناشی از نداشتن راهبرد مشخص در توسعه پایدار باشد، موجب جداسازی منفی انرژی، آلودگی و رشد اقتصادی شده است. توصیه اصلی این پژوهش، اولویت‌گذاری روی کارایی انرژی در سطوح مختلف انرژی همراه با سرمایه‌گذاری در زیرساخت و فناوری انرژی است.

کلیدواژه‌ها: جداسازی، تحلیل عاملی، سطوح انرژی، تاپیو، ایران.

طبقه‌بندی JEL: C43, O4, Q4

* نویسنده مسئول: srasekhi@umz.ac.ir

1. Tapio, P.

۱. مقدمه

رشد اقتصادی رابطه تنگاتنگی با مصرف منابع طبیعی دارد و این منابع کمیاب و گران، محرک اصلی برای توسعه و تسریع در روند رشد اقتصادی جوامع مدرن تلقی می‌شوند (Zhang, et al., 2018; Song, et al., 2019; Song, et al., 2020). از طرف دیگر، تولید و مصرف منابع انرژی با هزینه‌های قابل توجه اجتماعی همراه شده و رفاه را کاهش داده است (Li, et al., 2018; Feng, et al., 2020a; Feng, et al., 2020b; Wang, et al., 2020; Rjoub, et al., 2021). با این حال، استفاده از منابع جهانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور پیوسته در حال افزایش بوده، و به دنبال آن، بحران آب و هوا و مخاطرات سلامت شتاب گرفته است (Krausmann, et al., 2018). به‌طور خلاصه، جهان با معضل تعادل توسعه اقتصادی- مصرف انرژی روبه‌رو شده است (Bradshaw, 2010)، به‌گونه‌ای که با وجود تهدید گرمایش جهانی، بسیاری از کشورها به‌ویژه کشورهای در حال توسعه برای توسعه اقتصادی، محیط زیست را قربانی کرده‌اند (Shah, et al., 2016). ازاین‌رو، جداسازی مصرف انرژی از رشد اقتصادی به‌طور گسترده توسط بسیاری از کشورها به عنوان یک دستاورد بزرگ در راستای مبارزه با تغییرات آب و هوایی و اثرات مخرب محیط زیستی یاد می‌شود. لازم به ذکر است که براساس داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی[1] (۲۰۲۱)، انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق انرژی در سال ۲۰۲۱ به ۳۶/۳ گیگاتن افزایش یافته و به بالاترین سطح سالانه خود رسیده است. رشد ۶ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۱ نشانگر پیشی گرفتن آلودگی به رشد ۵/۹ درصد تولید جهانی بوده و بر این اساس، اکنون به‌طور گسترده پذیرفته شده است که رشد اقتصادی باید از منابع و اثرات منفی محیط زیستی جدا شود تا توسعه پایدار بلندمدت تضمین گردد.

براساس گزارشات آماری اداره اطلاعات انرژی آمریکا[2] (۲۰۱۹)، اگرچه رشد اقتصادی ایران طی دوره زمانی ۲۰۱۹-۱۹۹۰ به‌طور متوسط ۱/۳۴ درصد بوده ولی در همین مدت رشد مصرف منابع انرژی به‌طور متوسط بالغ بر ۳ درصد و میانگین رشد آلودگی (انتشار دی‌اکسیدکربن) بیش از ۱/۱ درصد گزارش شده است. این وابستگی رشد اقتصادی به منابع انرژی در سایر کشورهای در حال توسعه نظیر بحرین و قطر نیز مشاهده می‌شود. این در حالی

1. International Energy Agency (IEA)
2. Energy Information Administration

است که براساس داده‌های پایگاه آماری آژانس بین المللی انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشورهای توسعه‌یافته همچون آمریکا، دانمارک، فرانسه، آلمان، ایتالیا، ژاپن و نروژ موجب تفکیک منابع و رشد اقتصادی شده است. تجربه کشورهای توسعه‌یافته، امیدواری‌ها برای غلبه بر کمبود منابع و محدودیت‌های رشد و خوش‌بینی برای رشد اقتصادی سبز و پایدار را تقویت کرده است. هر چند جداسازی نسبی در بسیاری از کشورها مورد تأیید قرار گرفته است ولی دستیابی به جداسازی مطلق هنوز دشوار و دست‌نیافتنی به نظر می‌رسد (Hickel & Kallis, 2020).

اگرچه مطالعات متعددی درباره وابستگی میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی و آلودگی انجام شده ولی تعداد مطالعات درباره جداسازی رشد اقتصادی- انرژی- آلودگی محدود است. در عین حال، بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد درباره پویایی جداسازی در سطوح سه‌گانه انرژی (اولیه، نهایی، مفید) انجام نشده است. بر این اساس و با توجه به اهمیت موضوع جداسازی نسبی اقتصاد و انرژی، هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی و تحلیل عاملی جداسازی انرژی- رشد اقتصادی- آلودگی در سطوح سه‌گانه انرژی برای اقتصاد ایران است. برای این منظور از روش تاپیو در چارچوب تحلیل عاملی و در سه سطح انرژی اولیه، نهایی و مفید برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ استفاده شده و جداسازی برای اقتصاد ایران بررسی شده است. به‌کارگیری تجزیه مصرف انرژی سه سطحی برای یک دوره به نسبت طولانی و امکان بررسی پویایی جداسازی با یک مثلث مصرف انرژی- رشد- آلودگی از ویژگی‌های متمایز این مطالعه محسوب می‌شود. لازم به توضیح است که مطالعه حاضر فعالیت‌های اقتصادی را به‌صورت کشاورزی، خدمات، صنعت، خانگی و حمل و نقل تفکیک کرده است که بیشترین تفکیک ممکن براساس داده‌ها و طبقه‌بندی آماری موجود در منابع داخلی است. البته در ترازنامه انرژی ایران علاوه بر تجمیع بخش خانگی، عمومی و تجاری، این بخش‌ها به‌صورت جداگانه بخش خانگی و بخش تجاری و عمومی نیز گزارش شده است و داده‌های بخش خانگی در گروه خانگی و داده‌های تجاری و عمومی در گروه خدمات قرار گرفته‌اند.

مقاله حاضر در پنج بخش ارائه شده است. پس از مقدمه که در بخش اول آمده، در بخش دوم، ادبیات نظری و تجربی جداسازی رشد اقتصادی و منابع انرژی مطرح شده است. بخش های سوم و چهارم به روش‌شناسی تحقیق، اندازه‌گیری و تحلیل جداسازی رشد اقتصادی و

منابع انرژی در اقتصاد ایران اختصاص دارند. در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی ارایه شده و در بخش انتهایی، منابع تحقیق آمده است.

۲. ادبیات جداسازی رشد اقتصادی و انرژی

در چارچوب توسعه پایدار، پیوند انرژی- تولید در قالب ۴ فرضیه قابل بررسی است. براساس دو فرضیه خنثایی و حفاظت[۱]، اقتصاد به انرژی کمتری نیاز دارد و سیاست صرفه‌جویی انرژی به رشد اقتصاد کشور آسیبی نمی‌رساند. فرضیه حفاظت توسط برخی مطالعات از جمله رحمان و ولایتام[۲] (۲۰۲۰)، رحمان و همکاران[۳] (۲۰۲۰) و اومورزاکوف و همکاران[۴] (۲۰۲۰) تأیید شده است. همچنین، فرضیه خنثایی نیز مورد تأیید برخی مطالعات تجربی همچون پاینه و تیلور[۵] (۲۰۱۰) و موتینیو و مادالنو[۶] (۲۰۲۰) قرار گرفته است. فرضیه‌های خنثایی و حفاظت نشانگر جداسازی منابع و رشد اقتصادی هستند. در مقابل، براساس فرضیه‌های بازخورد و رشد[۷]، مصرف انرژی محرک مهم توسعه اقتصادی است و کاهش مصرف انرژی و سیاست‌های کاهش انتشار برای حفاظت محیط زیست، می‌تواند به کاهش رشد اقتصادی منجر شود. مطالعات بکون و همکاران[۸] (۲۰۱۹) و امیر و بکون[۹] (۲۰۱۹) نشان می‌دهند که مصرف انرژی موجب تسریع رشد تولید ناخالص داخلی می‌شود. همچنین، برخی از مطالعات تجربی همچون عجمی و اینگلیسی- لوتز[۱۰] (۲۰۲۰)، ها و نگوک[۱۱] (۲۰۲۱) و محسن و همکاران[۱۲] (۲۰۲۱) از فرضیه بازخورد حمایت می‌کنند.

تأیید منحنی U وارون کوزنتس (رشد اقتصادی و مصرف انرژی) در مطالعات تجربی نشان می‌دهد برخی کشورها موفق به جداسازی رشد اقتصادی از مصرف انرژی شده‌اند. به

1. Hypotheses of Neutrality and Protection
2. Rahman, M. M., & Velayutham, E.
3. Rahman, Z. U., et al.
4. Umurzakov, U., et al.
5. Payne, J. E., & Taylor, J. P.
6. Moutinho, V., & Madaleno, M.
7. Hypotheses of Feedback and Growth
8. Bekun, F. V., et al.
9. Emir, F., & Bekun, F. V.
10. Ajmi, A. N., & Inglesi-Lotz, R.
11. Ha, N. M., & Ngoc, B. H.
12. Mohsin, M., et al.

عنوان نمونه، وانگ و سو[1] (۲۰۲۰) و وانگ و ونگ[2] (۲۰۲۰) نشان می‌دهند که اقتصادهای توسعه‌یافته به تدریج به وضعیت جداشدگی ضعیف باثبات نزدیک می‌شوند و تعداد کمی از کشورهای توسعه‌یافته به سمت جداسازی قوی در حال حرکت هستند. همچنین، رابطه غیرخطی میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی (Moon & Sonn, 1996; Lee & Chang, 2007; Antonakakis, et al., 2017; Muhammad, 2019) نشانگر امکان جداسازی منابع و رشد اقتصادی حداقل در برخی بازه های زمانی است. برخی از اقتصاددانان معتقدند که تفکیک رشد اقتصادی از منابع طبیعی، با اعمال سیاست‌ها و ایجاد نهادهای مناسب ممکن شده است (Schandl, et al., 2016; Szigeti, et al., 2017). اعمال سیاست‌ها درخصوص ارتقای بهره‌وری و صرفه‌جویی انرژی، ارتقای سرمایه انسانی، سیاست‌های نوآورانه برای مقابله با فقر انرژی موجب شده است که کشورهای پیشرفته نسبت به کشورهای فقیر، تقاضای انرژی کمتری به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی داشته باشند (Mahmood & Ahmad, 2018; Ziolo, et al., 2020).

جداسازی به دو دسته نسبی و مطلق تقسیم می‌شود. جداسازی نسبی زمانی است که نرخ رشد استفاده از منابع یا اثرات مخرب آن کمتر از نرخ رشد اقتصادی باشد. جداسازی نسبی به معنای بهبود کارایی اقتصادی است. در مقابل، جداسازی مطلق به نبود رابطه میان رشد اقتصادی و منابع یا ارتباط منفی میان آن‌ها اشاره دارد (Wang, et al., 2013; Yu, et al., 2013). امکان جداسازی مطلق بعید به نظر می‌رسد و شواهد تجربی نیز به ندرت از جداسازی مطلق پشتیبانی کرده‌اند (Shao & Rao, 2018). همچنین، براساس تئوری رشد سبز[3]، با تغییر و جایگزینی فناوری، امکان جداسازی کامل رشد اقتصادی از منابع فراهم می‌شود ولی شواهد تجربی محکمی نیز در این رابطه وجود ندارد (Hickel & Kallis, 2020). در مقابل، ارتقای صنعتی، فناوری پیشرفته و تجهیزات سبز و حذف فناوری‌های قدیمی در تسهیل جداسازی (جداسازی نسبی) مؤثر بوده است (Wang & Feng, 2019). همچنین، مشارکت فعال دولت (Zhang & Wen, 2008) و ابتکارات بخش خصوصی و سازمان‌های غیر دولتی (Ghisellini, et al., 2016) و رابطه متقابل دولت و بخش خصوصی (Wiesenthal, et al.,

1. Wang, Q., & Su, M.
2. Wang, Q., & Wang, S.
3. Green Theory

2012) موجب جداسازی نسبی شده است. جایگزینی‌های انرژی، پیشرفت فنی در به‌کارگیری کارای منابع انرژی و افزایش بازده نسبت به مقیاس نیز در همسو کردن رشد اقتصادی با کاهش مصرف انرژی در بلندمدت مؤثر هستند (Groth, 2007). در همین راستا، تغییرات تکنولوژیکی، تغییر در ترکیب ورودی‌های انرژی و تغییر در ترکیب خروجی‌ها بر جداسازی رشد اقتصادی و انرژی مؤثر است (Stern, 2004). به‌طور مشخص، اختراعات و نوآوری‌های جدید می‌تواند موجب صرفه‌جویی انرژی و فزونی نرخ رشد تولید ناخالص داخلی بر نرخ رشد به‌کارگیری نهاده‌های انرژی شود. همچنین، انتقال از سوخت‌های با کیفیت پایین به سوخت‌های با کیفیت بالاتر موجب تغییر ترکیب ورودی انرژی شده و می‌تواند شدت انرژی را کاهش دهد. تغییر در ترکیب خروجی‌ها نیز می‌تواند بر جداپذیری مؤثر باشد چون بخش‌های مختلف دارای شدت انرژی متفاوتی هستند و تغییر سهم بخشی می‌تواند به جداپذیری انرژی و رشد اقتصادی بینجامد. تجربه کشورهای پیشرفته نشانگر اثر معنادار نوآوری و پیشرفت فنی بر صرفه‌جویی در انرژی و توسعه پایدار است (Wu, et al., 2018).

بررسی رابطه میان انرژی‌های نهایی و مفید با رشد اقتصادی اغلب با پرسش درخصوص بهره‌وری و کارایی انرژی همراه می‌شود. چون به دلیل کارایی غیربهینه انرژی، در هر دو فرایند تبدیل و مصرف انرژی، انرژی هدر می‌رود و این موضوع به تضعیف جداسازی رشد و انرژی می‌انجامد. به عبارت دقیق‌تر، در مرحله انرژی نهایی، کارایی تبدیل انرژی و در مرحله انرژی مفید، هر دو کارایی تبدیل و وسایل مصرف‌کننده انرژی موجب افزایش غیرمطلوب انرژی به ازای هر واحد فعالیت می‌شود که خود به معنای جداسازی منفی تلقی می‌شود. همچنین با تبدیل کارای انرژی اولیه به انرژی مفید، انتظار می‌رود جداسازی نسبی انرژی اولیه از تولید ناخالص داخلی صورت گیرد (Haberl, et al., 2020). در شرایطی که منابع انرژی کمیاب هستند، جداسازی سطوح مختلف انرژی از تولید ناخالص داخلی به عنوان موتور رشد اقتصادی محسوب می‌شود (Ayres & Warr, 2009; Sakai, et al., 2019). جداسازی انرژی از طریق مسیرهای سخت[1] (زیرساخت و فناوری) و نرم[2] (کارایی، بهره‌وری و کنترل) امکان‌پذیر است (Lovins, 1978). مسیر سخت سرمایه‌بر، پیچیده و

1. Hard Path
2. Soft Path

غیرقابل انطباق، درحالی‌که مسیر نرم به نسبت ساده، متنوع، قابل انطباق، انعطاف‌پذیر و مناسب است. آنچه در واقعیت مشاهده می‌شود ترکیب مسیرهای سخت و نرم در سیاستگذاری‌های انرژی است. البته این دو مسیر به راحتی قابل تفکیک نیست و سیاست‌های انرژی برای افزایش کارایی و بهره‌وری انرژی متأثر از توسعه فناوری و زیرساخت انرژی است. همچنین، با وجود و توسعه زیرساخت‌های مناسب انرژی، سیاست‌های کارایی و بهره‌وری انرژی نیز با سرعت و دقت بیشتری قابل اعمال خواهد بود. البته بدون استفاده از تکنولوژی نوین خارجی و عدم امکان افزایش لازم در بهره‌وری عوامل تولید، بهبود در روند اقتصاد را نمی‌توان مهیا ساخت (خیابانی، ۱۳۹۵).

خلاصه مطالعات انجام شده خارجی و داخلی درخصوص فرضیه جداسازی رشد اقتصادی و انرژی در جداول (۱) و (۲) ارایه شده است. براساس این جداول، اکثر کشورهای مورد بررسی با جداسازی نسبی و ضعیف روبه‌رو شده‌اند. همچنین جداسازی آلودگی(دی‌اکسیدکربن) با چالش و نااطمینانی مواجه شده است.

جدول ۱. خلاصه مطالعات انجام شده در خارج کشور در رابطه با جداسازی منابع انرژی و دی‌اکسیدکربن و رشد اقتصادی

نام محقق	حدود پژوهش	الگوی پژوهش	نتایج مهم
لو و همکاران[1] (۲۰۰۷)	آلمان، ژاپن، کره جنوبی و تایوان (۲۰۰۲-۱۹۹۰)	شاخص دیویژیا	عملکرد حفاظت انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن بیشتر با فشار محیطی و نیروی محرکه اقتصادی همراه است.
دی فریتاس و کانکو[2] (۲۰۱۱)	برزیل (۲۰۰۹-۲۰۰٤)	میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا[3]	جداسازی‌های نسبی و مطلق در این کشور با تنوع ترکیب انرژی، بهبود شدت کربن و تغییرات ساختار اقتصادی مرتبط است.
ژانگ و وانگ[4] (۲۰۱۳)	جیانگ‌سو (۲۰۰۹-۱۹۹۵)	جداسازی تاپیو	در اقتصاد جیانگ‌سو تولید ناخالص داخلی سریع‌تر از انتشار CO_2 رشد کرد.

1. Lu, I. J., et al.
2. De Freitas, L. C., & Kaneko, S.
3. Log-mean Divisia index
4. Zhang, M., & Wang, W.

ادامه **جدول ۱.** خلاصه مطالعات انجام شده در خارج کشور در رابطه با جداسازی منابع انرژی و دی‌اکسیدکربن و رشد اقتصادی

نام محقق	حدود پژوهش	الگوی پژوهش	نتایج مهم
دونگ و همکاران[1] (۲۰۱۶)	استان لیائونینگ (۲۰۱۲-۱۹۹۵)	جداسازی تاپیو و میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا تعمیم‌یافته	در طول دوره مطالعه، جداسازی منفی گسترده، جفت شدن گسترده[2]، جداسازی ضعیف و جداسازی قوی رخ داده است. شدت انرژی نقش مهمی در جداسازی ایفا کرده است.
گوارا و دومینگوس[3] (۲۰۱۷)	پرتغال (۲۰۱۰-۱۹۹۵)	مدل داده- ستانده	پرتغال جداسازی نسبی را تجربه کرده است.
سونگ و همکاران[4] (۲۰۱۹)	چین و آمریکا (۲۰۱۶-۱۹۶۵)	جداسازی تاپیو	ایالات متحده جداسازی قوی و چین جداسازی ضعیف داشته‌اند.
لو و همکاران[5] (۲۰۲۱)	۲۴ شهر در کل CPUA (۲۰۱۵-۲۰۰۴)	جداسازی تاپیو	شهرهای مورد بررسی هنوز به جداسازی قوی رشد اقتصادی و منابع و محیط زیست دست نیافته‌اند.
لی و همکاران[6] (۲۰۲۱)	چین (۲۰۱۵-۱۹۹۵)	جدول داده-ستانده و با ترکیب شاخص جداسازی تاپیو و شاخص LMDI	چین شاهد جداسازی ضعیفی در اکثر بخش‌ها است و عوامل اصلی مؤثر بر تغییرات جداسازی شامل اثرات تولیدی و شدتی است.
گوا و همکاران[7] (۲۰۲۱)	۸۱ کشور (۲۰۱۴-۱۹۷۱)	-	جداسازی ممکن است با چالش‌ها و عدم اطمینان روبرو شود.
وانگ و ژانگ[8] (۲۰۲۲)	چین، ایالات متحده، هند، ژاپن و روسیه (۲۰۱۸-۲۰۰۱)	جداسازی تاپیو، فرمول توسعه‌یافته کایا[9] و میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا LMDI	ژاپن کشوری با بیشترین جداسازی قوی بوده و پس از آن ایالات متحده قرار دارد.
رازا و همکاران[10] (۲۰۲۳)	پاکستان (۲۰۲۰-۱۹۸۱)	میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا LMDI	رابطه معنادار میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی در حالت‌های جداسازی، وجود دارد.

مأخذ: یافته‌های پژوهش حاضر

1. Dong, B., et al.
2. Expansive Coupling
3. Guevara, Z., & Domingos, T.
4. Song, Y., et al.
5. Luo, H., et al.
6. Li, C., et al.
7. Guo, J., et al.
8. Wang, F., & Zhang, Z.
9. Extended Kaya Formula
10. Raza, M. Y., et al.

جدول ۲. خلاصه مطالعات انجام شده در داخل کشور در رابطه با جداسازی منابع انرژی و دی‌اکسیدکربن و رشد اقتصادی

نام محقق	حدود پژوهش	الگوی پژوهش	نتایج مهم
هاشمی و آماده (۱۳۹۸)	بخش‌های صنعت و حمل و نقل ایران (۱۳۹۳-۱۳۸۵)	با به‌کارگیری شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی جمعی زنجیره‌ای و شاخص جداسازی	در این دوبخش مصرف انرژی افزایش داشته است. اثر ساختاری در توضیح تغییرات مصرف انرژی و در توضیح روند جداسازی مصرف انرژی از رشد تولید ناخالص داخلی بیشترین سهم را دارد.
نقوی (۱٤۰۱)	بخش‌های کشاورزی و صنعت ایران (۱۳۹۷-۱۳۸۸)	با استفاده از شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی LMDI و شاخص جداسازی	در بیشتر سال‌های مورد مطالعه، اثر شدت انرژی در بخش صنعت و اثر تولیدی در بخش کشاورزی بیشترین سهم را در تجزیه مصرف انرژی داشته است. در سال ۱۳۹٤، شاخص جداسازی، نشانگر جداسازی قوی مصرف انرژی از رشد بخش کشاورزی است.
نقوی و عادلی ساردوئی (۱٤۰۱)	کشورهای منتخب (۲۰۱۸-۲۰۰۸)	شاخص جداسازی تاپیو	وضعیت شاخص جداسازی در کشورهای دارای بیشترین عملکرد محیط زیستی بسیار پایدارتر است.

مأخذ: یافته‌های پژوهش حاضر

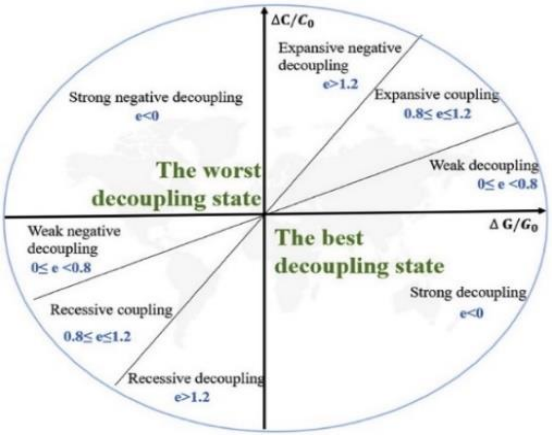
۳. روش‌شناسی پژوهش

تاپیو (۲۰۰۵) شاخصی را برای بررسی جداسازی مصرف انرژی حمل و نقل اروپا و انتشار دی‌اکسیدکربن طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۷۰ ارائه کرد. جداسازی تاپیو شامل جداسازی منفی گسترده، جفت شدن گسترده، جداسازی ضعیف، جداسازی قوی، جداسازی مغلوب، جفت شدن مغلوب، جداسازی منفی ضعیف و جداسازی منفی قوی می‌شود. این روش با ارایه جداسازی‌های متنوع، به‌طور گسترده در بسیاری از مطالعات استفاده شده است (Ma, et al., 2016; Hu, et al., 2017; Wang & Zhang, 2021). برای محاسبه جداسازی مصرف انرژی- رشد اقتصادی، براساس تاپیو (۲۰۰۵)، ابتدا ضریب کشش جداسازی به‌صورت زیر محاسبه می شود:

$$e(E) = \frac{\Delta E_t / E_{t-1}}{\Delta G_t / G_{t-1}} \quad (۱)$$

که در آن $e(E)$ ضریب کشش جداسازی میان رشد اقتصادی و مصرف انرژی، ΔE نشان‌دهنده تغییرات مصرف انرژی طی دوره مورد بررسی، E_{t-1} نشان‌دهنده مصرف انرژی در سال پایه، ΔG تغییر تولید ناخالص داخلی سرانه طی دوره مورد بررسی و G_{t-1} نشانگر تولید ناخالص داخلی سرانه در سال پایه است (Wang & Zhang, 2021). روش تاپیو مبتنی بر تغییرات همسو یا خلاف جهت تغییرات مصرف انرژی و رشد است. به عنوان مثال، در شرایطی که مصرف انرژی کاهش و تولید افزایش می‌یابد، تفکیک قوی میان رشد اقتصادی و مصرف انرژی وجود دارد، درحالی‌که جداپذیری منفی به شرایطی اشاره دارد که مصرف انرژی افزایش و تولید کاهش می‌یابد. در مجموع، براساس روش تاپیو، هشت وضعیت جداسازی قابل تشخیص است (شکل ۱ و جدول ۳).

شکل ۱. حالات جداسازی



مأخذ: (تاپیو، ۲۰۰۵)

جدول ۳. حالت‌های جداسازی براساس شاخص جداسازی تاپیو

ردیف	حالت	ΔG	ΔE	E
۱	جداسازی منفی گسترده	ΔG>۰	ΔE>۰	e > ۱/۲
۲	جفت شدن گسترده	ΔG>۰	ΔE>۰	۰/۸ ≤e≤ ۱/۲
۳	جداسازی ضعیف	ΔG>۰	ΔE>۰	۰ ≤e<۰/۸
٤	جداسازی قوی	ΔG>۰	ΔE<۰	e< ۰
٥	جداسازی مغلوب	ΔG<۰	ΔE<۰	e> ۱/۲
٦	جفت شدن مغلوب	ΔG<۰	ΔE<۰	۰/۸ ≤e≤ ۱/۲
۷	جداسازی منفی ضعیف	ΔG<۰	ΔE<۰	۰ ≤e< ۰/۸
۸	جداسازی منفی قوی	ΔG<۰	ΔE>۰	e< ۰

مأخذ: ژانگ و همکاران (۲۰۱۴)

در پژوهش حاضر، برای بررسی دقیق‌تر جداسازی، از رویکرد تحلیل عاملی در سطوح مختلف انرژی استفاده شده است. در این رویکرد، مصرف در سه سطح از انرژی (اولیه، نهایی، مفید) به سه اثر فعالیتی[1] (میزان تولید)، ساختاری[2] (تغییر ساختارهای اقتصادی) و شدتی[3] (اثر فناوری) تجزیه می‌شود. در این مطالعه از روش دیویژیای میانگین لگاریتمی و هر کدام از این اثرات به شرح زیر استفاده شده است.

$$\Delta Q = \sum_i \frac{E_{it} - E_{i0}}{ln\, E_{it} - ln\, E_{i0}} ln\left(\frac{Q_t}{Q_0}\right) \quad (۲)$$

$$\Delta S = \sum_i \frac{E_{it} - E_{i0}}{ln\, E_{it} - ln\, E_{i0}} ln\left(\frac{S_{it}}{S_{i0}}\right) \quad (۳)$$

$$\Delta I = \sum_i \frac{E_{it} - E_{i0}}{ln\, E_{it} - ln\, E_{i0}} ln\left(\frac{I_{it}}{I_{iO}}\right) \quad (۴)$$

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta S + \Delta I \quad (۵)$$

1. Activity Effect
2. Structural Effect
3. Intensity Effect

E_{it}: مصرف سطوح مختلف انرژی[1] بخش iام در سال t

E_{i0}: مصرف سطوح مختلف انرژی بخش iام در سال پایه

Q_t: تولیدناخالص داخلی کشور در سال t بر حسب ثابت دلار ۲۰۱۵

Q_0 : تولید ناخالص داخلی کشور در سال پایه بر حسب ثابت دلار ۲۰۱۵

I_{i0} : شدت انرژی بخش iام در سال پایه

S_{it}: ساختار بخش iام در سال t (از تقسیم Y_{it}: ارزش افزوده بخش iام در سال t بر Q_t: تولید ناخالص داخلی کشور در سال t)

S_{i0} : ساختار بخش iام در سال پایه

I_{it} : شدت انرژی بخش iام در سال t (از تقسیم E_{it}: مصرف انرژی بخش iام در سال t بر Y_{it}: ارزش افزوده بخش iام در سال t)

شدت انرژی از نسبت مصرف انرژی (برحسب میلیون بشکه معادل نفت خام) بر ارزش افزوده (برحسب ریال ثابت سال ۱۳۹۰) اندازه‌گیری شده است. همچنین ساختار اقتصادی از نسبت ارزش افزوده بخشی (ریال ثابت سال ۱۳۹۰) به تولید ناخالص داخلی (ریال ثابت سال ۱۳۹۰) محاسبه شده است. داده‌های آماری متغیرهای تولید ناخالص داخلی و ارزش افزوده بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات از سایت بانک جهانی[2] و جدول حساب‌های ملی و اطلاعات مربوط به مصرف سطوح مختلف انرژی بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات از ترازنامه انرژی ایران در سال‌های مختلف، جمع‌آوری و پردازش شده‌اند.

٤. اندازه‌گیری و تحلیل جداسازی رشد اقتصادی- مصرف انرژی- دی‌اکسیدکربن در اقتصاد ایران

شکل (۲) جداسازی رشد اقتصادی- مصرف انرژی- انتشار دی‌اکسیدکربن ایران را طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ ارایه می‌کند. این شکل به دو بخش تفکیک شده است که در بخش اول جداسازی رشد اقتصادی- مصرف انرژی در سطوح مختلف انرژی برای

---

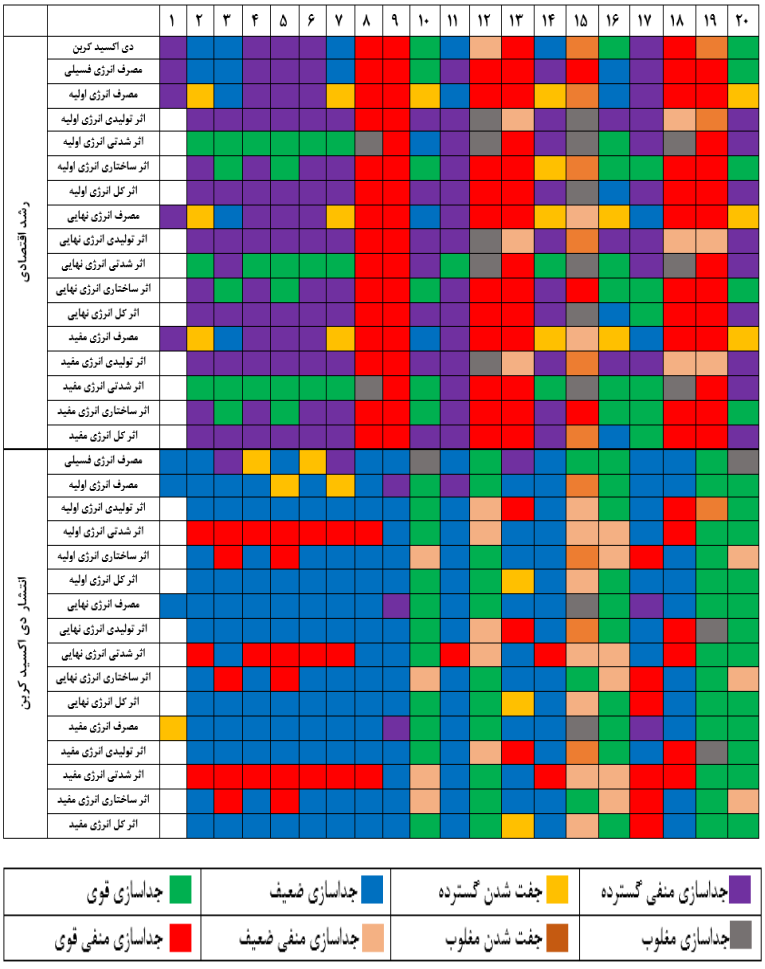
۱. در چارچوب سیستم انرژی کشور، انرژی اولیه به تفکیک هر بخش براساس ضریب کارایی حامل‌های انرژی محاسبه شده است. انرژی نهایی هر بخش از گزارش‌های سال‌های مختلف ترازنامه انرژی وزارت نیرو اتخاذ شده است و انرژی مفید نیز طبق ضریب کارایی آن، از طریق انرژی نهایی محاسبه شده است.

2. World Bank

مؤلفه‌های مختلف مصرف انرژی و در بخش دوم، جداسازی مصرف انرژی از دی‌اکسیدکربن در سطوح مختلف انرژی برای مؤلفه‌های مختلف مصرف انرژی ارائه شده است. براساس این شکل، در مجموع، روند جداسازی رشد اقتصادی و دی‌اکسیدکربن مشابه با و متأثر از روند جداسازی رشد اقتصادی و مصرف انرژی فسیلی بوده است. همچنین، روند جداسازی رشد اقتصادی- مصرف انرژی فسیلی هم‌راستا با تغییرات جداسازی در سطوح مختلف انرژی (اولیه، نهایی و مفید) است که این یافته ناشی از بالا بودن سهم انرژی فسیلی در مصرف انرژی در ایران است. شکل (۲) همچنین نشانگر جداسازی ضعیف میان مصرف انرژی فسیلی و دی‌اکسیدکربن است که می‌تواند ناشی از ماهیت آلایندگی سوخت‌های فسیلی باشد. براساس این نتیجه، جداسازی رشد اقتصادی از دی‌اکسیدکربن متأثر از مصرف انرژی‌های فسیلی است. در مجموع، در بخش اول شکل (۲)، اشکال مختلف جداسازی منفی (جداسازی منفی گسترده، جداسازی منفی ضعیف و جداسازی منفی قوی) در رابطه با رشد اقتصادی و مصرف انرژی مشاهده می‌شود. در راستای همین نتیجه، در بخش دوم از شکل (۲)، بیشتر جداسازی ضعیف برای سطوح مختلف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن برقرار است. در میان مؤلفه‌های مصرف انرژی، مؤلفه شدتی، جداسازی قوی را نشان می‌دهد ولی این جداسازی با نوسان روبه‌رو شده و گاه در بازه جداسازی مثبت (جداسازی ضعیف، جداسازی مغلوب و جداسازی قوی) و حتی در بازه جداسازی منفی (جداسازی منفی گسترده و جداسازی منفی قوی) قرار گرفته است که می‌تواند ناشی از افت فناوری باشد. این یافته با اطلاعات ارایه شده در بخش دوم شکل (۲) سازگار است چون جداسازی مؤلفه شدتی- دی‌اکسیدکربن با نوسان در بازه‌های جداسازی روبه‌رو شده است. همان‌گونه که بخش اول شکل (۲) نشان می‌دهد، مؤلفه ساختاری بیشترین جداسازی منفی قوی را از رشد اقتصادی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، ساختار اقتصادی ایران به‌گونه‌ای تغییر یافته است که جداسازی مصرف انرژی و رشد اقتصادی بدتر شده است. این در حالی است که جداسازی مؤلفه ساختاری و دی‌اکسیدکربن (در بخش دوم شکل ۲) در بازه جداسازی ضعیف ولی نوسانی قرار گرفته است. سرانجام، رشد اقتصادی در بخش اول از شکل (۲)، اغلب با جداسازی منفی (جداسازی منفی گسترده و جداسازی منفی قوی) از کل مصرف انرژی همراه بوده است. این در حالی است که براساس اطلاعات بخش دو در شکل

(۲)، جداسازی ضعیف در دوره‌های ابتدایی و سپس نوسانی و در نهایت در دو سال اخیر جداسازی قوی میان کل مصرف انرژی- دی‌اکسیدکربن برقرار است.

شکل ۲. جداسازی رشد اقتصادی- مصرف انرژی- انتشار دی‌اکسیدکربن ایران طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰



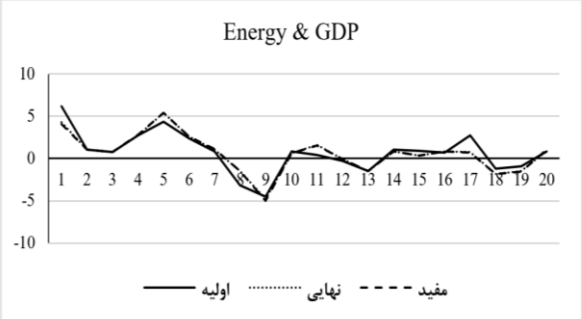
اعداد ۱ تا ۲۰ به ترتیب نشان‌دهنده دوره‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰-۲۰۱۹ است.

مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

در مجموع، همان‌گونه که شکل (۲) نشان می‌دهد روند جداسازی رشد اقتصادی و مصرف انرژی طی دوره زمانی نوسانی ولی بیشتر با جداسازی منفی روبه‌رو شده و این جداسازی اغلب با جداسازی مصرف انرژی و دی‌اکسیدکربن مطابقت داشته است. در عین حال، در میان مؤلفه‌های مختلف مصرف انرژی، مؤلفه شدتی با جداسازی منفی قوی‌تر و مؤلفه ساختاری با جداسازی ضعیف روبه‌رو شده و هر دو روند نوسانی را نشان داده‌اند. روند نوسانی می‌تواند به دلیل نبود برنامه و راهبرد مشخص برای جداسازی رشد اقتصادی- مصرف انرژی-دی‌اکسیدکربن باشد.

یافته‌ها در شکل (۲) و نمودار (۱) نشان می‌دهد که در مقایسه با جداسازی رشد اقتصادی از سطوح مختلف انرژی، جداسازی منفی (جداسازی منفی گسترده، جداسازی منفی قوی و جداسازی منفی ضعیف) رشد اقتصادی با انرژی مفید و نهایی نسبت به سطح اولیه انرژی بیشتر است. محاسبه کارایی در سطوح مختلف انرژی در جدول (۴)، با برآیند پایین بودن کارایی انرژی در سطوح بالاتر می‌تواند دلیلی بر جداسازی منفی قوی‌تر در سطوح بالاتر انرژی باشد. در نمودار (۱) روند سری زمانی جداسازی سطوح مختلف انرژی و رشد اقتصادی ارائه شده است که این روند، جداسازی منفی با را شدت مختلف نشان می‌دهد.

نمودار ۱. روند جداسازی مصرف در سطوح مختلف انرژی- رشد اقتصادی ایران طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰

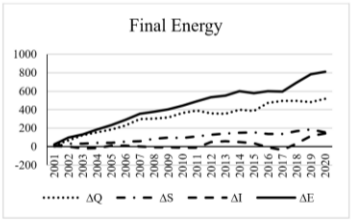


مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

در ادامه در شکل (۲)، برای بررسی دقیق‌تر، جداسازی سطوح مختلف مصرف انرژی و رشد اقتصادی ایران با لحاظ کردن رویکرد تحلیل عاملی طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۱ ارایه

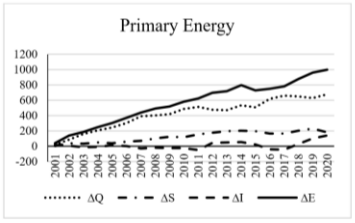
شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که در سطوح مختلف انرژی، مؤلفه شدتی جداپذیری بیشتری با رشد اقتصادی دارد که گویا سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در دوره‌های اولیه مورد بررسی مؤثر بوده است، درحالی‌که در دوره‌های بعدی، مصرف ناکارای انرژی و بازده پایین فناوری‌ها برقرار است. ولی براساس مشاهدات آماری، سال‌هایی که اقتصاد ایران با جداسازی منفی مواجه شده، تولید سرانه و موجودی سرمایه کاهش پیدا کرده است. برعکس در زمان‌هایی که تولید سرانه در حال افزایش بوده، مصرف انرژی همراه با رشد اقتصادی افزایش یافته است. همچنین، اثر ساختاری در هر سه سطح بیشترین جداسازی منفی قوی را با رشد اقتصادی نشان می‌دهد که نشانگر وجود صنایع با تکنولوژی انرژی‌بر است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۹). همچنین، قیمت پایین حامل‌های انرژی و فراوانی انرژی در ایران موجب شده است که ساختار تجهیزات به‌کار رفته در بخش صنایع، انرژی‌بر باشد (ملکیان و همکاران، ۱۳۹۴). اثر تولیدی نیز در اکثر دوره‌ها باعث افزایش مصرف انرژی شده و جداسازی منفی گسترده را نشان داده است که نشان‌دهنده فناوری با انرژی‌بری بالا در بخش تولیدی ایران است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۹). در مجموع اثر تولیدی در هر سه سطح غالب بوده ولی سهم اثر شدتی در اثر کل ناچیز است (شکل ۲). این نتایج با روند تجزیه مصرف انرژی در سطوح مختلف (نمودارهای ۲، ۳ و ۴) سازگاری دارد که نشان می‌دهد افزایش مصرف انرژی در دوره‌های مورد بررسی بیش از آن‌که ناشی از اثر شدتی و ساختاری باشد، ناشی از اثر فعالیتی در صنایع انرژی‌بر است.

نمودار ۲. تجزیه مصرف انرژی نهایی ایران با روش LMDI طی دوره زمانی ۲۰۲۰–۲۰۰۱



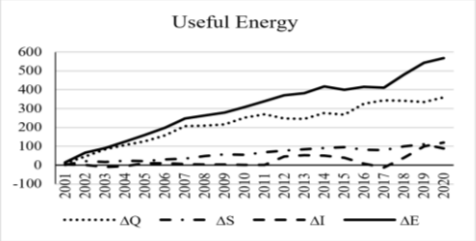
مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۳. تجزیه مصرف انرژی اولیه ایران با روش LMDI طی دوره زمانی ۲۰۲۰–۲۰۰۱



مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ٤. تجزیه مصرف انرژی مفید ایران با روش LMDI طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۱

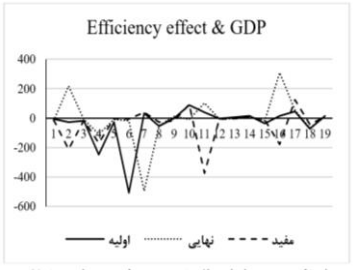


مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

روند جداسازی رشد اقتصادی و اثر تولیدی انرژی طی دوره زمانی مورد مطالعه (نمودار، ۵)، می‌تواند نشان از دشوار شدن جداسازی مصرف انرژی- رشد اقتصادی (به دلیل فناوری با انرژی‌بری بالا) باشد. براساس محاسبات جداسازی گزارش شده از مؤلفه شدتی انرژی در سطوح مختلف انرژی و رشد اقتصادی در شکل (۲) و روند جداسازی در نمودار (۶) به نظر می‌رسد تلاش‌هایی در جهت بهبود جداسازی فعالیت‌های اقتصادی کشور انجام شده است ولی جداسازی در این دوره با نوسان روبه‌رو شده است و این یافته نشانگر نبود ثبات در سیاست‌های کارایی انرژی از یک طرف و بی‌ثباتی‌های اقتصادی از طرف دیگر است؛ گزارشات آماری حساب‌های ملی (۱۳۹۹) و بانک جهانی (۲۰۲۱) شواهدی بر این ادعاست. نتایج ارائه شده در شکل (۲) نیز نشان می‌دهد که تغییر ساختار طی دوره زمانی مورد بررسی نتوانسته است جداسازی قوی مصرف انرژی- رشد اقتصادی ایجاد کند. با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر، جداسازی قوی در برخی سال‌ها می‌تواند ناشی از صنعت‌زدایی و جداسازی مجازی باشد[۱].

۱. تحلیل مشابهی توسط مورو و همکاران (۲۰۱۹) ارایه شده است.

نمودار ٦. روند جداسازی اثر شدتی مصرف در سطوح مختلف انرژی–رشد اقتصادی ایران

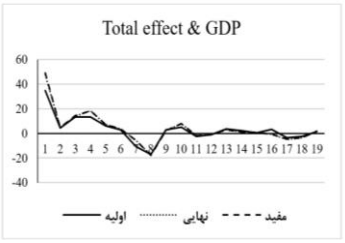


مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۵. روند جداسازی اثر تولیدی مصرف در سطوح مختلف انرژی–رشد اقتصادی ایران

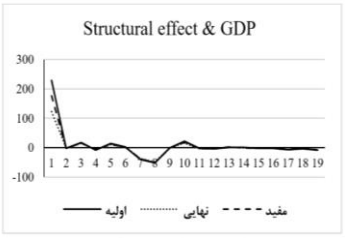
مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۸. روند جداسازی اثر کل مصرف در سطوح مختلف انرژی–رشد اقتصادی ایران



مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۷. روند جداسازی اثر ساختاری مصرف در سطوح مختلف انرژی– رشد اقتصادی ایران



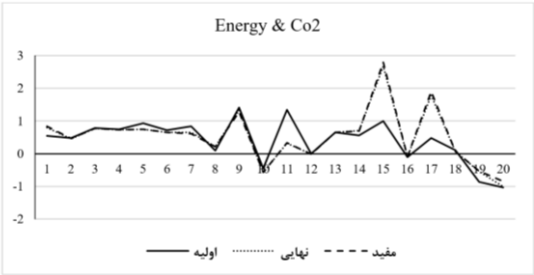
مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

براساس شکل (۲) و در چارچوب اثر فعالیتی، جداسازی منفی رشد اقتصادی و مصرف انرژی مشاهده می‌شود. ولی اثر ساختاری، سهم بیشتری در جداسازی منفی رشد اقتصادی و مصرف انرژی نسبت به سایر مؤلفه‌های انرژی نشان می‌دهد. بر این اساس، حرکت ساختار اقتصاد ایران همچنان به سمت استفاده از صنایع با تکنولوژی انرژی‌بر بالا است. جداسازی سطوح مختلف مصرف انرژی– رشد اقتصادی ایران اگرچه ضعیف ولی اغلب متأثر از اثر شدتی مصرف انرژی بوده که نشانی از مؤثر بودن سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی است. روند جداسازی مصرف انرژی مفید– رشد اقتصادی، مشابه جداسازی مصرف انرژی نهایی– رشد اقتصادی است که به نسبت، هم راستا با تغییرات انرژی اولیه است.

در مجموع، اقتصاد ایران در جداسازی مصرف انرژی و رشد اقتصادی موفق عمل نکرده است و دلیل آن می‌تواند ناشی از ساختارهای اقتصادی همسو با مصرف بیشتر انرژی و ناکارایی در مصرف انرژی باشد. ویژگی منابع‌محور بودن اقتصاد ایران و ساختار تولید مبتنی بر مصرف انرژی موجب شده است که میزان مصرف انواع سوخت‌های فسیلی و غیرفسیلی در سطح بالایی قرار گرفته و روند روبه‌رشدی داشته باشد (هاشمی و آماده، ۱۳۹۸). همچنین گزارشات آماری ترازنامه انرژی ایران (۱۳۹۹)، گزارشات آماری اداره اطلاعات انرژی آمریکا (۲۰۲۱) و نیز مطالعات مزینی و همکاران (۱۳۹۴) ساختارهای همسو با مصرف انرژی را تأیید می‌کنند.

مصرف ناکارآمد انرژی علاوه بر انحراف تخصیص بهینه منابع، تبعات منفی به‌ویژه آلایندگی دارد و در این رابطه سؤال این است که طی دوره زمانی مورد مطالعه، کدام مؤلفه مصرف انرژی، جداپذیری بیشتری از آلودگی دی‌اکسیدکربن داشته است؟ برای پاسخ به این سؤال، جداسازی آلودگی- رشد اقتصادی- مصرف انرژی در سه سطح مصرف انرژی اولیه، نهایی و مفید انجام شده است. براساس شکل (۲)، جداسازی ضعیف آلودگی و مصرف انرژی در سطوح مورد بررسی تأیید می‌شود. نمودار (۹) روند نوسانی جداسازی آلودگی و مصرف انرژی در سطوح مختلف انرژی را نشان می‌دهد. تغییر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرفسیلی در سبد تولید و مصرف انرژی کشور در این روند بی‌تأثیر نبوده است. همچنین محاسبات انجام شده و شکل (۲) نشان می‌دهد که انرژی اولیه نسبت به دو سطح دیگر انرژی (انرژی نهایی و انرژی مفید) اثر بیشتری در آلایندگی محیط زیست دارد. نمودار (۹) نیز نشان می‌دهد روند جداسازی انرژی نهایی و انرژی مفید از آلودگی دارای هم‌حرکتی هستند.

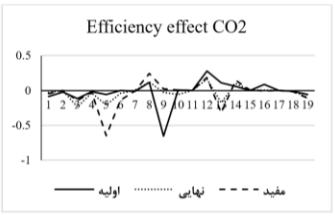
نمودار ۹. روند جداسازی میان آلودگی و مصرف در سطوح مختلف انرژی ایران طی دوره زمانی ۲۰۰۰–۲۰۲۰



مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

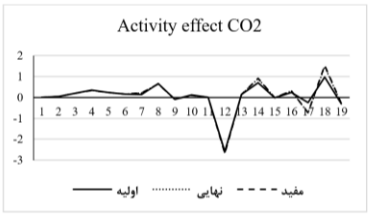
همان‌طور که شکل (۲) نشان می‌دهد، آلودگی بیشترین جداسازی منفی را با اثر شدتی در سطوح مختلف انرژی مورد بررسی دارد. این یافته با توجه به سهم مسلط انرژی تجدیدناپذیر و تجهیزات ناسازگار با محیط زیست دور از انتظار نیست. در ارتباط با مؤلفه فعالیتی، اغلب جداسازی ضعیف در سطوح مختلف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن برقرار است هر چند روند جداسازی به مرور از وضعیت یکنواخت به حالت نوسانی تغییر کرده است (نمودار ۱۰). در مقابل، در رابطه با مؤلفه شدتی، جداسازی منفی هر چند نوسانی در سطوح مختلف انرژی مشاهده می‌شود (نمودار ۱۱). روند نوسانی جداسازی می‌تواند ناشی از نبود سیاست‌های بهینه‌سازی مؤثر درخصوص محیط زیست و مصرف انرژی باشد. همچنین، جداسازی ضعیف و نوسانی میان مؤلفه ساختاری مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در اقتصاد ایران (نمودار، ۱۲) نشان‌دهنده سهم مسلط صنایع با انرژی‌بری و دارای آلودگی بالاست.

نمودار ۱۱. روند جداسازی میان آلودگی و اثر شدتی مصرف در سطوح مختلف انرژی



مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۱۰. روند جداسازی میان آلودگی و اثر تولیدی مصرف در سطوح مختلف انرژی

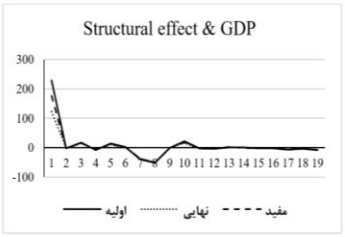


مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۱۳. روند جداسازی میان آلودگی و اثر کل مصرف در سطوح مختلف انرژی

مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

نمودار ۱۲. روند جداسازی میان آلودگی و اثر ساختاری مصرف در سطوح مختلف انرژی



مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

شکل (۲) نشان می‌دهد، روند جداسازی مصرف انرژی فسیلی- رشد اقتصادی به نسبت، مشابه روند جداسازی انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن - رشد اقتصادی است.

تضاد شدید میان محیط زیست و اقتصاد ایران، این انتظار را ایجاد می‌کند که در کنار سیاست‌های انرژی، صنایع باید مسئولیت اجتماعی[1] بیشتری درخصوص محیط زیست داشته باشند. شدت تأثیر آلودگی بر مصرف انرژی می‌تواند ناشی از دو انگیزه نوع‌دوستی و خودگرایی باشد (Galaskiewicz, 1997). دیدگاه نوع‌دوستی مربوط به حس شهروندی و رفاه اجتماعی (Zheng & Xie, 2019) و دیدگاه خودگرایی مرتبط با حداکثرسازی منافع

1. Corporate Social Responsibility

ذینفعان و شهرت و اعتبار آنها است (Porter & Kramer, 2006). به عنوان مثال، زمانی که کیفیت هوا بدتر می‌شود، بنگاه‌های انرژی‌بر، تمایل بیشتری به ایفای مسئولیت اجتماعی از خود نشان می‌دهند. همچنین به دلیل مصرف بالای انرژی ممکن است اعتبار این بنگاه‌ها به مخاطره بیفتد که موجب افزایش مشارکت آنها در کاهش آلودگی می‌شود.

دستیابی به جداسازی بین رشد اقتصادی، انتشار دی‌اکسیدکربن و مصرف انرژی برای اقتصاد ایران آسان نیست زیرا ساختار فعلی مصرف انرژی کشور وابستگی بالایی به منابع فسیلی دارد. ایران به عنوان کشوری روبه‌رشد و برخوردار از منابع انرژی گسترده و غنی، یکی از مصداق‌های الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی به حساب می‌آید (براتی ملایری و حوری جعفری، ۱۳۸۷). راه برون‌رفت از مثلث شوم جداناپذیری انرژی- آلودگی- رشد، توجه به سیاست‌های سازگار در مثلث سیاست‌گذاری انرژی است.

نکته چالش‌برانگیز این است که از یک طرف، انرژی یکی از اصلی‌ترین عوامل برای شکل‌گیری و پیشرفت جوامع صنعتی محسوب می‌شود. از طرف دیگر، منابع انرژی به‌ویژه انرژی فسیلی به محیط زیست آسیب می‌زند. برای رفع این ناسازگاری، مصرف بهینه انرژی هموار مورد تأکید بوده و رشد اقتصادی همراه با بهبود کیفیت محیط زیست از اهداف اصلی در توسعه پایدار محسوب می‌شود.

جدول ٤. تغییر مصرف سطوح مختلف انرژی و ضریب کارایی مصرف انرژی

سال	APE	P→F	AFE	F→U	AUE
۲۰۰۰-۲۰۰۵	۹٤٦/۸۰۸۸	۰/۷٤	۷۰۵/۱۰۸۸	۰/٦۹	٤۸۵/۵۵٤۸
۲۰۰۵-۲۰۱۰	۱۲۵۷/۲۷	۰/۷٦	۹۵۳/۸٤۲۵	۰/٦۹	٦۵۸/۸۸۸۲
۲۰۱۰-۲۰۱۵	۱٤۲۷/۱۵۸	۰/۷٦	۱۰۸۲/۲۹	۰/٦۹	۷٤۸/٤۵۹۳
۲۰۱۵-۲۰۲۰	۱٦۰۹/۵۹٤	۰/۷۷	۱۲٤۳/۸٦۷	۰/٦۹	۸٦۱/٤۷۳۸

APE: میانگین انرژی اولیه

AFE: میانگین انرژی نهایی

AUE: میانگین انرژی مفید

P→F: کارایی انرژی از انرژی اولیه به انرژی نهایی (نسبت انرژی نهایی بر انرژی اولیه)

F→U: کارایی انرژی از انرژی نهایی به انرژی مفید (نسبت انرژی مفید بر انرژی نهایی)

محاسبات در این جدول به‌صورت متوسط در بازه ۵ ساله ارائه شده است.

مأخذ: ترازنامه انرژی ایران و محاسبات پژوهش حاضر

همان‌گونه که جدول (۴) نشان می‌دهد کارایی انرژی اقتصاد ایران در سطوح مختلف انرژی، تاحدی پایین است. همچنین، عدم کارایی بالاتر در سطوح بالاتر انرژی می‌تواند تأییدی بر یافته‌های پژوهش مبنی بر وابستگی بیشتر رشد اقتصادی به مصرف انرژی‌های مفید و نهایی در مقایسه با انرژی اولیه باشد. این موضوع نشانگر لزوم ارتقای کارایی انرژی در همه سطوح تولید و مصرف انرژی در سیستم انرژی است. عدم توجه به مسیر بهینه مصرف انرژی در آینده می‌تواند علاوه بر انحراف از توسعه پایدار به هزینه‌های گزاف انرژی برای رشد اقتصادی کشور منجر گردد.

همچنین در بررسی کارایی انرژی مفید برای بخش‌های مختلف اقتصاد ایران، بخش‌های خدمات، کشاورزی، صنعت، خانگی و حمل و نقل، به ترتیب پایین‌ترین تا بالاترین میزان کارایی را به خود اختصاص داده‌اند. بخش حمل و نقل مسافر و بار کشور دارای بهره‌وری و راندمان مطلوبی نبوده و علاوه بر این‌که به زیرساخت‌های مناسب و تجهیزات حمل و نقل نیاز دارد، یکی از مصرف‌کنندگان عمده حامل‌های انرژی کشور نیز است. بررسی الگوی مصرف انرژی همچنین نشان می‌دهد بیشترین سهم انرژی طی دوره مورد مطالعه مربوط به بخش مصارف خانگی می‌باشد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۹) که توجه به مصرف بهینه انرژی نهایی و مفید را دوچندان می‌کند. البته در سایر بخش‌ها نیز مراقبت لازم در مصرف بهینه انرژی به عمل نمی‌آید و مثال‌های زیادی از اتلاف انرژی و راندمان پایین در وسایل و دستگاه‌های مصرف‌کنندگان انرژی در صنایع و نیروگاه‌ها می‌توان ذکر کرد. روند کلی حاکم بر مصرف انرژی در بخش کشاورزی، نشان‌دهنده رشد سالیانه مصرف انرژی در این بخش است؛ ولی سهم بخش کشاورزی از مصرف حامل‌های انرژی طی دوره مورد بررسی رو به کاهش بوده است. به هر حال، پایین بودن بهره‌وری در مصرف حامل‌های انرژی و آب در بخش کشاورزی، چالش عمده کشور در مصرف این منابع محسوب می‌شود و از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به فقدان نظام تولید براساس آمایش سرزمین، نبود الگوی استاندارد مصرف انرژی و آب و تحول غیرحجمی آب در بیشتر شبکه‌های آبیاری کشور اشاره کرد.

۵. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

هدف اصلی از پژوهش حاضر، بررسی و تجزیه و تحلیل جداسازی انرژی- تولید- آلودگی ایران طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰ در سطوح مختلف انرژی و به تفکیک مؤلفه‌های مختلف مصرف انرژی است. نتایج تحقیق حاضر به‌طور کلی نشانگر تسلط جداسازی منفی این سه متغیر طی دوره زمانی مورد مطالعه است. همچنین، مقایسه جداسازی‌ها در مؤلفه‌های فعالیتی، شدتی و ساختاری نشان می‌دهد اقتصاد ایران به شدت وابسته به مصرف انرژی بوده و تشدید آلودگی، ناشی از انرژی‌بر بودن فعالیت‌های اقتصادی و افت و عدم توسعه تکنولوژی، عدم تغییر بهینه ساختارهای اقتصادی است.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد رشد اقتصادی به عنوان محرک اصلی افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در دهه‌های گذشته ظاهر شده است. این در حالی است که کاهش مصرف انرژی طی دوره مورد مطالعه، نقش مهمی در مهار انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است. بر این اساس سیاست کاهش مصرف انرژی به دلیل وابستگی اقتصاد ایران به انرژی، با مشکل مواجه شده است.

در مجموع، ارزیابی تحقیق حاضر نشان‌دهنده وابستگی اقتصاد ایران به مصرف انرژی در هر سه سطح انرژی اولیه، انرژی نهایی و انرژی مفید است، به‌گونه‌ای‌که میزان پایین کارایی انرژی به‌ویژه در سطوح بالای انرژی (ثانویه و مفید) مشهود است. با توجه به این‌که کاهش فشار محیطی با محدودیت‌هایی روی رشد اقتصادی همراه است، توجه به مؤلفه‌های شدت انرژی و همچنین بهره‌وری انرژی برای تعادل رشد اقتصادی و مصرف انرژی ضروری است. با توجه به جداسازی منفی در اثرات ساختاری، شدتی و فعالیتی به نظر می‌رسد در اقتصاد ایران، راهبرد مشخصی درخصوص جداسازی و ایجاد تعادل میان مصرف انرژی و توسعه اقتصادی وجود ندارد.

براساس نتایج مطالعه حاضر، نخست ضروری است کارایی مصرف انرژی در سطوح مختلف انرژی (اولیه، نهایی و مفید) افزایش یابد. سپس در جداسازی رئوس مثلث (انرژی، رشد و آلودگی)، توصیه می‌شود جداسازی با اثربخشی بیشتر (فناوری و کارایی انرژی در سطوح مختلف انرژی) در اولویت سیاستگذاری توسعه پایدار قرار گیرد. در این رابطه ضروری است در کنار مسیر نرم جداسازی، مسیرهای سخت نیز با انجام سرمایه‌گذاری

مستقیم خارجی پیگیری شود. برای جداسازی اقتصاد ایران از مصرف انرژی فسیلی، پیشنهاد می‌شود سرمایه‌گذاری کارا و اثربخش در انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای گسترش یابد، حمایت مالی پایدار از فناوری‌های پیشرفته انرژی به عمل آید و ارتقای کارایی و بهره‌وری انرژی در اولویت سیاست‌های انرژی قرار گیرد. با وجود محدودیت‌ها چنانچه سیاستگذاران بتوانند کشش آلودگی را کاهش دهند، سیاست‌های بهینه در حفظ جوانب رفاهی مثلث مؤثر خواهد بود. همچنین تنظیم رفتار مصرف انرژی اجتماعی، نقش مهمی در بهبود بازده انرژی شهروندی در بخش مسکونی، تجاری و عمومی و فعالیت‌های تولیدی دارد.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Saeed Rasekhi https://orcid.org/0000-0002-6280-7243

Sara Ghanbartabar Ahmadi https://orcid.org/0000-0002-9225-6921

منابع

براتی ملایری، عقیل و حوری جعفری، حامد. (۱۳۸۷). بررسی وضعیت مصرف انرژی در بخش‌های مصرف‌کننده نهایی. بررسی مسائل اقتصاد انرژی، ۱ (۱)، ۵۶-۹۶.

خیابانی، ناصر. (۱۳۹۵). یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه پویا برای ارزیابی آثار سیاست‌های انرژی: شواهدی از ایران. پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۲۱(۶۹)، ۱-۴۶. https://doi: 10.22054/ijer.2017.7502

نقوی، سمیه و عادلی ساردوئی، محسن. (۱۴۰۱). تحلیل جداسازی انتشار آلودگی محیط زیستی از رشد بخش کشاورزی در کشورهای منتخب بر مبنای شاخص عملکرد زیست محیطی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. https://dio: 10.30495/jest.2022.61099.5401

نقوی، سمیه. (۱۴۰۱). کاربرد شاخص ترکیبی جداسازی- تجزیه مصرف انرژی در بخش‌های کشاورزی و صنعت ایران. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۶(۳)، ۲۸۷-۳۰۰. https://doi: 10.22067/jead.2022.74585.1111

مزینی، امیرحسین، عصاری، عباس، افشاریان، بهناز و رسولی، احمد. (۱۳۹۴). بازتعریف رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران (رویکرد بخشی- استانی). فصلنامه مدلسازی اقتصادی، ۹(۳۰)، ۶۷-۸۹. https://sid.ir/paper/176346/en

هاشمی، مهری و آماده، حمید. (۱۳۹۸). تجزیه مصرف انرژی در بخش‌های صنعت و حمل و نقل (رهیافت تلفیق شاخص LMDI و شاخص Decoupling). اقتصاد و تجارت نوین، ۱۴(۳)، ۱۲۵-۱۴۸.

References

Ajmi, A. N., & Inglesi-Lotz, R. (2020). Biomass energy consumption and economic growth nexus in OECD countries: A panel analysis. *Renewable Energy, 162*, 1649-1654. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.002

Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Filis, G. (2017). Energy consumption, CO2 emissions, and economic growth: An ethical dilemma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *68*, 808-824. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105

Ayres, R. U., & Warr, B. (2009). *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*. Edward Elgar Publishing. https://doi:10.4337/9781848445956

Barati Malairi, A. & Houri Jafari, H. (2008). Investigating the state of energy consumption in the final consumer sectors. *Review of Energy Economy Issues*, *1*(1), 56-96. [In Persian]

Bradshaw, M. J. (2010). Global energy dilemmas: a geographical perspective. *Geographical Journal*, *176*(4), 275-290. https://doi:10.1111/j.1475-4959.2010.00375.x

Bekun, F. V., Emir, F., & Sarkodie, S. A. (2019). Another look at the relationship between energy consumption, carbon dioxide emissions, and economic growth in South Africa. *Science of the Total Environment*, *655*, 759-765. https://doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.271

De Freitas, L. C., & Kaneko, S. (2011). Decomposing the decoupling of CO2 emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*, *70*(8), 1459-1469. https://doi:10.1016/j.ecolecon.2011.02.011

Dong, B., Zhang, M., Mu, H., & Su, X. (2016). Study on decoupling analysis between energy consumption and economic growth in Liaoning Province. *Energy Policy*, *97*, 414-420. https://doi: 10.1016/j.enpol.2016.07.054

Emir, F., & Bekun, F. V. (2019). Energy intensity, carbon emissions, renewable energy, and economic growth nexus: new insights from Romania. *Energy & Environment*, *30*(3), 427-443. https://doi.org/10.1177/0958305X18793108

Feng, Y., Yu, X., Chiu, Y. H., & Lin, T. Y. (2020a). Energy efficiency and health efficiency of old and new EU Member States. *Frontiers in Public Health*, 8, 168. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00168

Feng, Y., Liu, R., Chiu, Y. H., & Chang, T. H. (2020b). Dynamic linkages among energy consumption, environment and health sustainability:

evidence from the different income level countries. *Inquiry: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing, 57*, 0046958020975220. https://doi.org/10.1177/0046958020975220

Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., & Minx, J. C. (2018). Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters, 13*(6), 063002. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f

Galaskiewicz, J. (1997). An urban grants economy revisited: Corporate charitable contributions in the Twin Cities, 1979-81, 1987-89. *Administrative science quarterly*, *42*(3), 445-471. https://doi.org/10.2307/2393734

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, *114*, 11-32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

Groth, C. (2007). A new-growth perspective on non-renewable resources. In *Sustainable resource use and economic dynamics* (127-163). Springer, Dordrecht.

Guevara, Z., & Domingos, T. (2017). Three-level decoupling of energy use in Portugal 1995–2010. *Energy Policy*, *108*, 134-142. https://doi: 10.1016/j.enpol.2017.05.050

Guo, J., Li, C. Z., & Wei, C. (2021). Decoupling economic and energy growth: aspiration or reality?. *Environmental Research Letters*, *16*(4), 044017. https://doi:10.1088/1748-9326/abe432

Ha, N. M., & Ngoc, B. H. (2021). Revisiting the relationship between energy consumption and economic growth nexus in Vietnam: new evidence by asymmetric ARDL cointegration. *Applied Economics Letters*, *28*(12), 978-984. https://doi: 10.1080/13504851.2020.1789543

Haberl, H., Wiedenhofer, D., Virág, D., Kalt, G., Plank, B., Brockway, P., & Creutzig, F. (2020). A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights. *Environmental research letters*, *15*(6), 065003. https://doi: 10.1088/1748-9326/ab842a

Hashemi, M., & Amadeh, H. (2019). Analysis of energy consumption in sectors of industry and transportation (Integrated Approach LMDI methods and indicators). *New Economy and Trad*, *14*(3), 125-148. [In Persian]

Hickel, J., & Kallis, G. (2020). Is green growth possible? *New political economy*, *25*(4), 469-486. https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964

Hu, J., Gui, S., & Zhang, W. (2017). Decoupling analysis of China's product sector output and its embodied carbon emissions-an empirical study based on non-competitive IO and Tapio decoupling model. *Sustainability*, *9*(5), 815. https://doi.org/10.3390/su9050815

Khiabani, N. (2017). A Dynamic CGE Model for Evaluation of Energy Policies: Evidence from Iran. *Iranian Journal of Economic*

Research, 21(69), 1-46. https://doi: 10.22054/ijer.2017.7502. [In Persian]

Porter, M. E. & Kramer, M. R. (2006). Strategy and society: The link between competitive advantage and corporate social responsibility. *Harvard business review*, *84*(12), 78-92.

Krausmann, F., Lauk, C., Haas, W., & Wiedenhofer, D. (2018). From resource extraction to outflows of wastes and emissions: The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015. *Global Environmental Change*, *52*, 131-140. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.003

Lee, C. C., & Chang, C. P. (2007). The impact of energy consumption on economic growth: Evidence from linear and nonlinear models in Taiwan. *Energy*, *32*(12), 2282-2294. https://doi: 10.1016/j.energy.2006.01.017

Li, C., Hu, H., Deng, L., Liu, Y., & Wang, Z. (2021). Structural decoupling the sectoral growth from complete energy consumption in China. *Energy Strategy Reviews*, *34*, 100634. https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100634

Li, L., Lei, Y., Wu, S., Huang, Z., Luo, J., Wang, Y., Chen, J., Yan, D. (2018). Evaluation of future energy consumption on PM2. 5 emissions and public health economic loss in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, *187*, 1115-1128. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.229

Lovins, A. B. (1978). Soft energy technologies. *Annual Review of Energy*, *3*(1), 477-517. https://doi:10.1146/annurev.eg.03.110178.002401

Lu, I. J., Lin, S. J., & Lewis, C. (2007). Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South Korea. *Energy policy*, *35*(6), 3226-3235. https://doi:10.1016/j.enpol.2006.11.003

Luo, H., Li, L., Lei, Y., Wu, S., Yan, D., Fu, X., Luo, X. & Wu, L. (2021). Decoupling analysis between economic growth and resources environment in Central Plains Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, *752*, 142284. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142284

Ma, X. W., Ye, Y., Shi, X. Q., & Zou, L. L. (2016). Decoupling economic growth from CO2 emissions: A decomposition analysis of China's household energy consumption. *Advances in Climate Change Research*, *7*(3), 192-200. https://doi:10.1016/j.accre.2016.09.004

Mahmood, T. & Ahmad, E. (2018). The relationship of energy intensity with economic growth: Evidence for European economies. *Energy strategy reviews*, *20*, 90-98. https:// doi:10.1016/j.esr.2018.02.002

Mohsin, M., Kamran, H. W., Nawaz, M. A., Hussain, M. S., & Dahri, A. S. (2021). Assessing the impact of transition from nonrenewable to renewable energy consumption on economic growth-environmental nexus from developing Asian economies. *Journal of environmental management*, *284*, 111999.

https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111999

Moon, Y. S., & Sonn, Y. H. (1996). Productive energy consumption and economic growth: An endogenous growth model and its empirical application. *Resource and Energy Economics*, *18*(2), 189-200. https://doi.org/10.1016/0928-7655(96)00006-1

Moreau, V., Neves, C. A. D. O., & Vuille, F. (2019). Is decoupling a red herring? The role of structural effects and energy policies in Europe. *Energy Policy*, *128*, 243-252. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.028

Moutinho, V., & Madaleno, M. (2020). Economic growth assessment through an ARDL approach: The case of African OPEC countries. *Energy Reports*, *6*, 305-311. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.253

Mozayani, A. M., Esari Arani, A., Afsharian, B., & Rasouli, A. (2015). Redefinition of the Relation between Energy Consumption and Economic Growth in Iran: Markov Switching Approach, *Quarterly Journal of Economic Modelling, 9*(2), 67-89. [In Persian] https://sid.ir/paper/176346/en.

Muhammad, B. (2019). Energy consumption, CO2 emissions and economic growth in developed, emerging and Middle East and North Africa countries. *Energy*, *179*, 232-245. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.126

Naghavi, S. (2022). Application of the Combined Index, Decomposing-Decoupling of Energy Consumption in the Agricultural and Industrial Sectors of Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *36*(3), 287-300. [In Persian] https://doi: 10.22067/jead.2022.74585.1111.

Naghavi, S., & Adeli, M., (2022). Analysis of Decoupling Environmental Pollution Emission from Agricultural Sector Growth in Selected Countries Based on Environmental Performance Index. *Environmental Science and Technology Quarterly*, *36*(3), 287-300. [In Persian] https://doi: 10.30495/JEST.2022.61099.5401.

Payne, J. E., & Taylor, J. P. (2010). Nuclear energy consumption and economic growth in the US: an empirical note. *Energy Sources*, Part B: *Economics, Planning, and Policy*, *5*(3), 301-307. https://doi.org/10.1080/15567240802533955

Rahman, M. M., & Velayutham, E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption-economic growth nexus: new evidence from South Asia. *Renewable Energy*, *147*, 399-408. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.007

Rahman, Z. U., Khattak, S. I., Ahmad, M., & Khan, A. (2020). A disaggregated-level analysis of the relationship among energy production, energy consumption and economic growth: Evidence from China. *Energy*, *194*, 116836. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116836

Raza, M. Y., Wu, R., & Lin, B. (2023). A decoupling process of Pakistan's agriculture sector: Insights from energy and economic perspectives. *Energy*, *263*, 125658. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125658

Rjoub, H., Odugbesan, J. A., Adebayo, T. S., & Wong, W. K. (2021). Sustainability of the moderating role of financial development in the determinants of environmental degradation: evidence from Turkey. *Sustainability*, *13*(4), 1844. https://doi:10.3390/su13041844

Sakai, M., Brockway, P. E., Barrett, J. R., & Taylor, P. G. (2019). Thermodynamic efficiency gains and their role as a key 'engine of economic growth'. *Energies*, *12*(1), 110. https://doi:10.3390/en12010110

Schandl, H., Hatfield-Dodds, S., Wiedmann, T., Geschke, A., Cai, Y., West, J., Newth, D., Baynes, T., Lenzen, M., & Owen, A. (2016). Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. *Journal of cleaner production*, *132*, 45-56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.100

Shah, K. U., Arioon, S., & Rambocas, M. (2016). Aligning corporate social responsibility with green economy development pathways in developing countries. *Sustainable Development*, *24*(4), 237-253. https://doi.org/10.1002/sd.1625

Shao, Q., & Rao, L. (2018). The rebound effect of dematerialization and decoupling: a case of energy efficiency. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, *16*(4), 299-313. https://doi.org/10.1080/10042857.2018.1544755

Song, Y., Huang, J., Zhang, Y. & Wang, Z. (2019). Drivers of metal consumption in China: an input-output structural decomposition analysis. *Resources Policy, 63,* 101421. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101421

Song, Y., Zhang, M., & Zhou, M. (2019). Study on the decoupling relationship between CO2 emissions and economic development based on two-dimensional decoupling theory: A case between China and the United States. *Ecological Indicators*, *102*, 230-236. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.044

Stern, D. I. (2004). Economic growth and energy. *Encyclopedia of energy*, *2*(00147), 35-51. https://doi.org/10.1016/b0-12-176480-x/00147-9

Tapio, P. (2005). Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport policy*, *12*(2), 137-151. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001

Szigeti, C., Toth, G., & Szabo, D. R. (2017). Decoupling–shifts in ecological footprint intensity of nations in the last decade. *Ecological Indicators*, 72,111-117. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.034

Umurzakov, U., Mirzaev, B., Salahodjaev, R., Isaeva, A., & Tosheva, S. (2020). Energy consumption and economic growth: Evidence from

post-communist countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *10*(6), 59. https://doi:10.32479/ijeep.10003

Wang, H., Hashimoto, S., Yue, Q., Moriguchi, Y., & Lu, Z. (2013). Decoupling analysis of four selected countries: China, Russia, Japan, and the United States during 2000–2007. *Journal of Industrial Ecology*, *17*(4), 618-629. https://doi.org/10.1111/jiec.12005

Wang, M., & Feng, C. (2019). Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China's metal industrial sectors: A technological and efficiency perspective. *Science of The Total Environment, 691*, 1173-1181. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.190

Wang, Q., & Zhang, F. (2021). The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth–evidence from 182 countries. *Journal of cleaner production*, *279*, 123838. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123838

Wang, Z., Asghar, M. M., Zaidi, S. A. H., Nawaz, K., Wang, B., Zhao, W., & Xu, F. (2020). The dynamic relationship between economic growth and life expectancy: Contradictory role of energy consumption and financial development in Pakistan. *Structural Change and Economic Dynamics*, *53*, 257-266. https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.03.004

Wang, F., & Zhang, Z. (2022). Decoupling economic growth from energy consumption in top five energy consumer economies: a technological and urbanization perspective. *Journal of Cleaner Production*, *357*, 131890. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131890

Wang, Q., & Su, M. (2020). Drivers of decoupling economic growth from carbon emission–an empirical analysis of 192 countries using decoupling model and decomposition method. *Environmental Impact Assessment Review*, *81*, 106356. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106356

Wang, Q., & Wang, S. (2020). Is energy transition promoting the decoupling economic growth from emission growth? Evidence from the 186 countries. *Journal of Cleaner Production*, *260*, 120768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120768

Ward, J. D., Sutton, P. C., Werner, A. D., Costanza, R., Mohr, S. H., & Simmons, C. T. (2016). Is decoupling GDP growth from environmental impact possible?. *PloS one*, *11*(10), e0164733. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164733

Wu, Y., Zhu, Q., & Zhu, B. (2018). Comparisons of decoupling trends of global economic growth and energy consumption between developed and developing countries. *Energy Policy*, *116*, 30-38. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.047

Wiesenthal, T., Leduc, G., Haegeman, K., & Schwarz, H. G. (2012). Bottom-up estimation of industrial and public R&D investment by technology in support of policy-making: The case of selected low-carbon energy technologies. *Research Policy*, *41*(1), 116-131. https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.08.007

Yu, Y., Chen, D., Zhu, B., & Hu, S. (2013). Eco-efficiency trends in China, 1978–2010: Decoupling environmental pressure from economic growth. *Ecological indicators*, *24*, 177-184. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.06.007

Zheng, D., & Xie, D. (2019). Party organizations and corporate donations in non-public enterprises. *Journal of Financial Research*, *9*, 151-168. http://www.jryj.org.cn/EN/Y2019/V471/I9/151

Zhang, K. M., & Wen, Z. G. (2008). Review and challenges of policies of environmental protection and sustainable development in China. *Journal of environmental management*, *88*(4), 1249-1261. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.019

Zhang, M., & Wang, W. (2013). Decouple indicators on the CO2 emission-economic growth linkage: The Jiangsu Province case. *Ecological Indicators*, *32*, 239-244. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.033

Zhang, Y., Nie, R., Shi, R. & Zhang, M. (2018). Measuring the capacity utilization of the coal sector and its decoupling with economic growth in China's supply-side reform, *Resources, Conservation and Recycling*, *129*, 314–325. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.022

Ziolo, M., Jednak, S., Savić, G. & Kragulj, D. (2020). Link between Energy Efficiency and Sustainable Economic and Financial Development in OECD Countries. *Energies*, *13*(22), 5898. https://doi.org/10.3390/en13225898

استناد به این مقاله: راسخی، سعید و قنبرتبار، سارا. (۱۴۰۲). پویایی جداسازی مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی در ایران: شواهد جدید از رویکرد تحلیل عاملی در سطوح سه‌گانه انرژی. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۸(۹۷)، ۶-۴۳.

Iranian Journal of Economic Research is licensed under a Creative Commons Attribution.NonCommercial 4.0 International License.