Vol. 14, No. 53, Spring (2025)

مطالعات اقتصادی کاربردی ایران

Quarterly Journal of Applied Economics Studies, Iran (AESI)

Scientific Association of Regional Development Economics

Applied Economics Studies, Iran (AESI)
P. ISSN:2322-2530 & E. ISSN: 2322-472X
Journal Homepage: https://aes.basu.ac.ir/
Scientific Journal of Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
Publisher: Bu-Ali Sina University. *All rights reserved.*
Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the ***Creative Commons****.* **(© The Author(s))**

Bu-Ali Sin University

The Role of Capital Utilization Rate in Evaluating the Performance of Environmental Policies in Iran

Mahtab MehrjouIrani[1], Mohammad-Ali Falahi[2], Narges Salehnia[3]

Type of Article: Research
https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29742.3715
Received: 2024.08.09; Revised: 2024.10.22; Accepted: 2024.11.04
Pp: 43-77

Abstract

In the last few decades, the number of researches carried out in the field of choosing the optimal environmental policy to combat climate change, which is one of the main consequences of environmental pollution, is increasing. Therefore, achieving the goal of reducing greenhouse gas emissions using policy measures has caused the concern of transition to a low-carbon economy. The main goal in determining the optimal environmental policy is to reduce carbon emissions with minimal fluctuation and economic instability. This article investigates the role of capital utilization rate in evaluating the performance of environmental policies, which has been widely ignored in the literature. In other words, the focus of this research is on how the capital utilization rate affects the mechanism of economic impulses (total factor productivity and energy price) and then, the choice of optimal environmental policy. To evaluate this effect, three important characteristics are considered in the Environmental Dynamic Stochastic General Equilibrium (E-DSGE) model: 1. capital utilization rate as endogenous variable, 2. capital depreciation that vary over the time and 3. Economic impulses. The result shows that the capital utilization rate strengthens the impact mechanism of impulses on the economy. Also, it strengthens the speed of return to equilibrium under different environmental policies. But when the firm uses the entire capital stock, the economy is relatively less responsive to business cycles. Assuming variable capital utilization rate, with the positive impulse of TFP and energy price, the effectiveness of environmental policy in reducing energy consumption increases.

Keywords: Environmental Policy, TFP Impulse, Energy Price, DSGE, Capital Utilization Rate.

JEL Classification: E32, C61, Q54.

1. Ph.D. Student in Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding Author). ***Email:*** falahi@um.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Citations: Mehrjouirani, M., Falahi, M. A. & Salehnia, N., (2025). "The Role of Capital Utilization Rate in Evaluating the Performance of Environmental Policies in Iran". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 14(53): 43-77. https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29742.3715
Homepage of this Article: https://aes.basu.ac.ir/article_5783.html?lang=en

1. Introduction

Today fighting problems such as global warming and climate change, which are the main consequences of environmental pollution, is one of the priorities of international community. In order to reduce the emission of greenhouse gases, especially carbon dioxide for a long time (Shakarin *et al.*, 1401), a discussion about the relationship between economic growth and environmental quality has been considered in scientific articles. According to Kaya et al. (1997) and Waggoner and Ausubel (2000), four factors play a major role in the amount of CO_2 emissions: population, GDP per capita, energy intensity and carbon intensity.

Since the growth of production and population has a stronger effect on carbon emissions than the growth of productivity, and the environment is a public good and pollution is a negative consequence of production on the environment, it seems that the best way to reduce carbon emissions is to internalize these consequences using environmental policies (Stern and Stern, 2007; Uitto, 2016)). In such a way both goals of economic growth and preventing environmental destruction are achieved simultaneously and optimally. Therefore, determining the optimal environmental policy that reduces carbon emissions without harming the stability of economy is a matter of discussion.

So, the main aim of the paper is to investigate the importance of capital utilization rate (CUR) in the performance of environmental policies in the framework of real business cycles. Then, the research question is how does the CUR affect the mechanism of impulses to the economy under different environmental policies?

2. Materials and Methods

To answer the research question, the Environmental Dynamic Stochastic General Equilibrium model of Fischer and Springborn (2011) was developed by considering 3 features: 1. Energy price shock in addition to TFP one, 2. endogenous variable of capital utilization rate and 3. endogenous variable of capital depreciation rate.

In this paper, two types of exogenous shocks are considered: 1. The shock of the total factor productivity and 2. the shock of the energy price. The model was simulated for 40 periods by Dynare-MATLAB software. Then the long-term average and standard deviation of each variable for each environmental policy are presented.

2. Discussion

According to the results, implementation of the environmental policy reduces average amount of the economic variables (except the labor supply and capital utilization rate) compared to the steady state.

It is possible to compare the results of the model for any environmental policy in two cases: 1. Fixed CUR and CDR and 2. variable CUR and CDR. The response of the variables under different types of environmental policy is different. With positive productivity shock, in order to meet the demand, the company has to exploit the capital stock (production capacity) more intensively. This will lead to an increase in the speed of capital depreciation. With the implementation of the carbon emission cap policy, the price of carbon has increased, and therefore the fluctuation of energy demand, consumption, production and investment was reduced compare to the “carbon tax” and the “goal of carbon emission intensity” policies.

With positive energy price shock, firm uses less capital in the production process. Therefore, the CDR also decreases. The performance of the carbon tax policy is similar to the situation of not applying the policy. However, with the implementation of the emission cap and the goal of emission intensity policies, the demand for emission permits and the price of carbon decreases and neutralizes the effect of increase in energy prices.

4. Conclusion

When the firm uses the entire capital stock, the model reacts relatively less to business cycles caused by impulses. That is, the amount of deviation of the model variables from the steady state decreases. That is true, because 1) the firm is not able to increase or decrease the capital stock in response to the periods of economic growth or contraction, and 2) the speed of return of the variables to the steady state is less than when the capital utilization rate is considered variable.

with the occurrence of positive impulse of TFP, the production and demand for production inputs increases. The increase in the demand for capital stock is reflected in the increase of capital utilization rate and thus strengthens demand for energy. Therefore, compared to the state of fixed capital utilization rate, energy consumption, production and final product consumption increase more. The environmental policy, on the other hand, also plays a more effective role in reducing energy consumption. The environmental policy acts like an increase in the cost of energy and reduces the demand for energy consumption and as a result production compared to the basic policy, so that the demand for production

inputs and the intensity of capital use in production also decrease. By reducing energy consumption again, it strengthens the effectiveness of environmental policy. With the gradual disappearance of the TFP momentum, the further reduction of the capital utilization rate compare to the depreciation rate increases the speed of variables for returning to the static equilibrium. The same conclusion applies to the energy price impulse.

Acknowledgments

At the end, the authors feel it necessary to express their appreciation to the anonymous reviewers of the journal for their contribution to the improvement of the article.

Observation Contribution

Dr. Mohammad Ali Falahi and Dr. Narges Salehnia are supervisors of the thesis, and Mahtab MehrjouIrani is a Ph.D. student.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest while observing publication ethics in referencing.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مطالعات اقتصادی کاربردی ایران
Quarterly Journal of Applied Economics Studies, Iran (AESI)
سال چهاردهم، شمارهٔ ۵۳، بهار ۱۴۰۴

فصلنامهٔ علمی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
شاپای چاپی: ۲۵۳۰-۲۳۲۲؛ شاپای الکترونیکی: ۴۷۲X-۲۳۲۲
وب‌سایت نشریه: https://aes.basu.ac.ir
نشریهٔ گروه اقتصاد، دانشکدهٔ علوم اقتصادی و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقالهٔ چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر این‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

نقش نرخ کاربری سرمایه در ارزیابی عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی در ایران

مهتاب مهرجو ایرانی[۱]، محمدعلی فلاحی[۲]، نرگس صالح‌نیا[۳]

نوع مقاله: پژوهشی
شناسهٔ دیجیتال: https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29742.3715
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴
صص: ۷۷-۴۳

چکیده

در دهه‌های اخیر شمار تحقیقات انجام‌شده در حوزهٔ انتخاب سیاست زیست‌محیطی بهینه، جهت مبارزه با تغییر اقلیم که یکی از پیامدهای اصلی آلودگی محیط زیست به شمار می‌رود، رو به افزایش است؛ از این‌رو، دستیابی به هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از اقدامات سیاستی، نگرانی فعالان اقتصادی را برای عبور از گذار به اقتصاد کم‌کربن، موجب شده است. هدف اصلی در تعیین سیاست زیست‌محیطی بهینه این است که انتشار کربن با حداقل نوسان و بی‌ثباتی در اقتصاد کاهش یابد. این پژوهش به بررسی نقش نرخ استفاده از سرمایه در ارزیابی عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی می پردازد که تاکنون در ادبیات اقتصاد ایران نادیده گرفته شده است. پرسش پژوهش این است که چگونه نرخ استفاده از سرمایه بر مکانیسم اثرگذاری تکانه‌های اقتصادی (بهره‌وری کل عوامل تولید و قیمت انرژی) و انتخاب سیاست زیست‌محیطی بهینه تأثیر می‌گذارد. جهت ارزیابی این اثر، سه ویژگی مهم در مدل تعادل عمومی پویای تصادفی زیست‌محیطی (E-DSGE) درنظر گرفته می‌شود: ۱. نرخ به‌کارگیری سرمایه، ۲. استهلاک سرمایهٔ متغیر طی زمان، ۳. تکانه‌های اقتصادی. نتیجهٔ مطالعه نشان می‌دهد: نرخ کاربری سرمایهٔ مکانیسم انتقال تکانه‌ها به اقتصاد کلان و سرعت بازگشت به تعادل را تحت سیاست‌های زیست‌محیطی مختلف تقویت می‌کند؛ اما وقتی بنگاه از کل موجودی سرمایه استفاده می‌کند، اقتصاد نسبتاً کمتر به ادوار تجاری واکنش نشان می‌دهند. با وقوع تکانهٔ مثبت بهره‌وری کل عوامل تولید و قیمت انرژی و با فرض متغیر بودن نرخ کاربری سرمایه، اثربخشی سیاست زیست‌محیطی در کاهش مصرف انرژی افزایش می یابد.

کلیدواژگان: سیاست زیست‌محیطی، تکانهٔ TFP، قیمت انرژی، نرخ کاربری سرمایه، DSGE.
طبقه‌بندی JEL: E32, C61, Q54.

---

*. این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسندهٔ اول در دانشگاه فردوسی مشهد است.

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکدهٔ علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
Email: mehr.ir.mahtab@gmail.com
۲. استاد گروه اقتصاد، ، دانشکدهٔ علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (نویسندهٔ مسئول).
Email: falahi@um.ac.ir
۳. دانشیار گروه اقتصاد، ، دانشکدهٔ علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
Email: n.salehnia@um.ac.ir

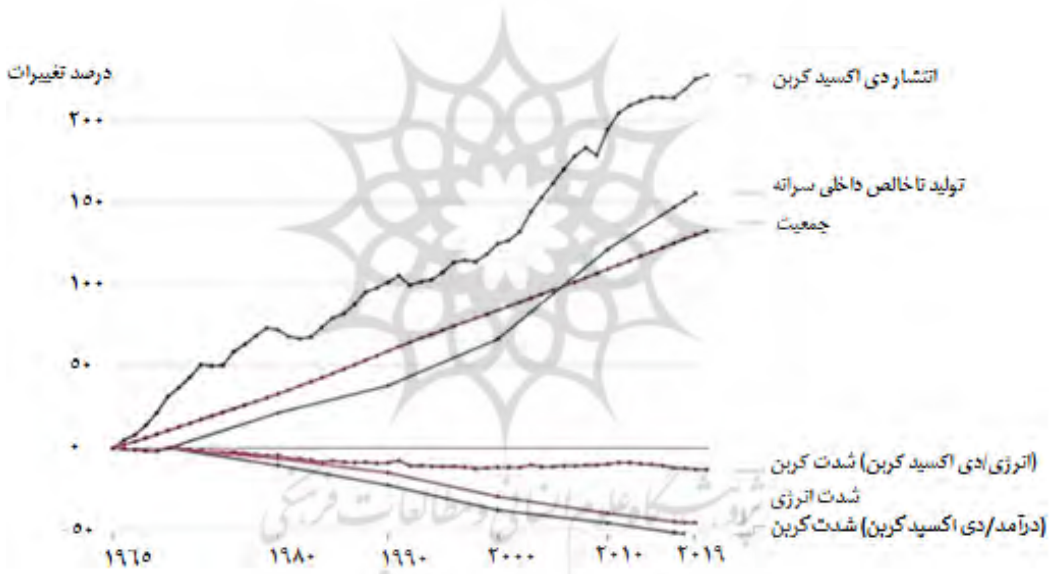
ارجاع به مقاله: مهرجوایرانی، مهتاب؛ فلاحی، محمدعلی؛ و صالح‌نیا، نرگس، (۱۴۰۴). «نقش نرخ کاربری سرمایه در ارزیابی عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی در ایران». مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۱۴(۵۳): 77-43. https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29742.3715
صفحهٔ اصلی مقاله در سامانهٔ نشریه: https://aes.basu.ac.ir/article_5783.html?lang=fa

۱. مقدمه

امروزه مبارزه با مشکلاتی از قبیل گرمایش جهانی و تغییر اقلیم که پیامدهای اصلی آلودگی محیطزیست به‌شمار می‌روند، از اولویت‌های جامعه بین الملل است. به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی اکسید کربن، مدت‌هاست بحثی پیرامون بررسی رابطهٔ بین رشد اقتصادی و کیفیت زیست‌محیطی، در محافل علمی مورد توجه قرار گرفته است (شاکرین و همکاران، ۱۴۰۱). با توجه به مطالعه «کایا» و همکاران[1] (۱۹۹۷) و «واگنر» و «اوسوبل»[2] (۲۰۰۰) چهار عامل جمعیت، GDP سرانه، شدت انرژی و شدت کربن در میزان انتشار CO_2 نقش اساسی دارند:

$$\text{انتشار } CO2 = \text{جمعیت} \times (\text{GDP/جمعیت}) \times (\text{انرژی} / \text{GDP}) \times (\text{انرژی} / CO_2)$$

نمودار ۱، روند انتشار CO2 و نمودار ۲، تغییرات بهره‌وری در اقتصادهای بزرگ جهان را برای دوره زمانی ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۹ م. نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ۱ ، انتشار CO_2 بیشتر ناشی از رشد جمعیت و افزایش درآمد سرانه (محرکی قوی‌تر از رشد جمعیت) است.



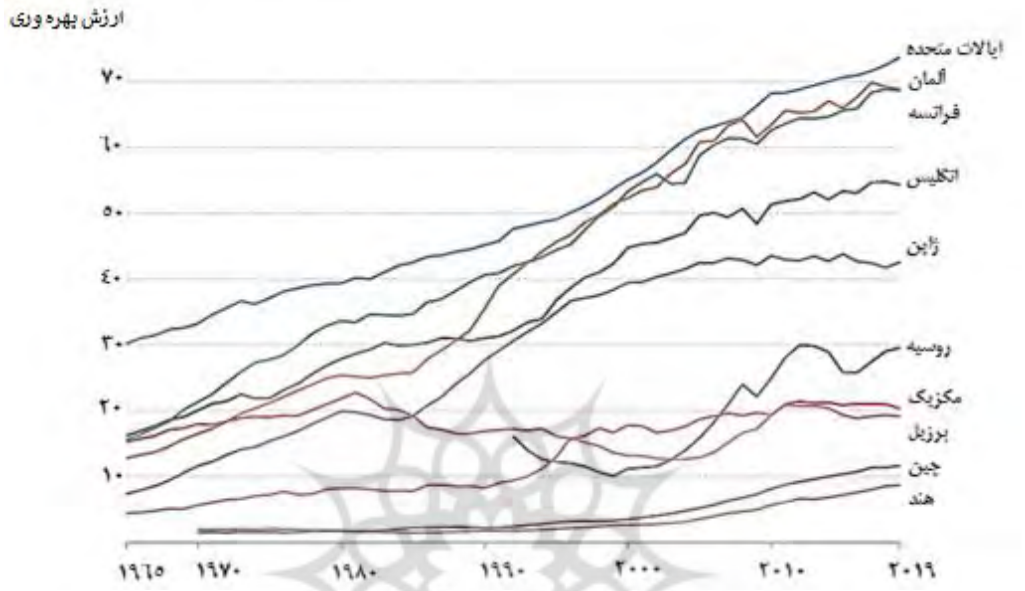
نمودار ۱: شاخص کایا (جهانی) (https://ourworldindata.org)

Graph. 1: Kaya index (global), (source: https://ourworldindata.org)

هم‌چنین نمودار ۲ نشان می‌دهد علی‌رغم افزایش نرخ رشد بهره‌وری، کاهش شدت مصرف انرژی و شدت انتشار کربن در اکثر اقتصادهای بزرگ، طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ م.، انتشار CO_2 افزایش یافته است. لذا از آن‌جا که: ۱. رشد تولید و جمعیت نسبت به رشد بهره‌وری اثر قوی‌تری بر انتشار کربن به دنبال دارد و ۲. محیطزیست یک کالای عمومی و آلودگی، پیامد منفی تولید بر محیطزیست است (یودو[3]، ۲۰۱۶)؛ به‌نظر می‌رسد بهترین راه

[1] Kaya
[2] Waggoner and Ausubel
[3] Uitto

کاهش انتشار کربن، درونی‌سازی این پیامدها با استفاده از سیاست‌های زیست‌محیطی در مدل اقتصادی است (استرن و استرن[1]، ۲۰۰۷)؛ به گونه‌ای که هر دو هدف دستیابی به رشد و رفاه اقتصادی و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست را به‌طور هم‌زمان و بهینه محقق سازد. بنابراین تعیین سیاست زیست‌محیطی بهینه که انتشار کربن را بدون آسیب به ثبات اقتصاد کاهش دهد، موضوع مورد بحث است.



نمودار ۲: بهره‌وری (تولید ناخالص داخلی به ازاء هر ساعت کار) (https://ourworldindata.org).

Graph. 2: Productivity (GDP per hour worked), (source: https://ourworldindata.org)

از این‌رو هدف مقاله، بررسی اهمیت نرخ کاربری سرمایه در عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی در چارچوب ادوار تجاری حقیقی است. در این تحقیق به این سؤال پاسخ داده می‌شود که چگونه نرخ کاربری سرمایه، مکانیسم انتقال تکانه‌ها به اقتصاد را تحت سیاست‌های زیست‌محیطی مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد؟

برای این منظور «مدل E-DSGE»[2] «فیشر» و «اسپرینگبورن»[3] (۲۰۱۱) با در نظرگرفتن سه ویژگی توسعه می‌یابد: ۱. تکانه قیمت انرژی علاوه بر تکانه بهره‌وری کل عوامل تولید (مشابه مقاله «کیم» و«لونگانی» (۱۹۹۲)، «روتمبرگ» و «وودفورد» (۱۹۹۶)) ۲. متغیر درون‌زای نرخ کاربری سرمایه و ۳. متغیر درون‌زای نرخ استهلاک سرمایه (مشابه مقاله فین (۲۰۰۰)).

در بخش بعد، مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق ارائه می‌گردد. سپس در بخش طراحی مدل، به معرفی خصوصیات مدل و چارچوب متدولوژی پرداخته می‌شود. در نهایت تحلیل‌های تجربی و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

[1] Stern and Stern
[2] Environmental Dynamic Stochastic General Equilibrium
[3] Fischer and Springborn

۲. مبانی نظری

محیطزیست یک کالای عمومی است و انتشار گاز گلخانه‌ای، اثرات خارجی منفی برای محیطزیست به‌همراه دارد. مفهوم اثرات خارجی اولین بار توسط «سیدویک»[۱] (۱۹۰۱) و «پیگو»[۲] (۱۹۲۰) معرفی شد. «باتور»[۳] (۱۹۵۸) و «بامول» و «اوتس»[۴] (۱۹۸۸)، اثرات خارجی عمومی و خصوصی را متمایز کرده‌اند. انتشار گاز گلخانه‌ای یک اثر خارجی عمومی و ناشی از فقدان سیستم قیمتی بهینه است. پیگو برای اولین بار، ابزاری را برای معادل‌سازی هزینه نهایی با منفعت نهایی آلودگی، ارائه داد (اصل آلوده‌کننده–پرداخت‌کننده). هم‌چنین ایجاد بازار سهمیه‌ای به‌عنوان ابزار محدودکننده انتشار کربن به‌کار گرفته‌شد که الهام‌گرفته از تحلیل «کوز»[۵](۱۹۶۰) است. طبق این تحلیل اگر دولت حقوق مالکیت را ایجاد کند، بازار با تعدیل عرضه‌وتقاضا به سمت تعادل پیش خواهد رفت.

در مورد بازار سهمیه‌ای، سیاست‌گذار ابتدا هدفی برای انتشار کربن تعریف و سپس سهمیه آلایندگی را بین انتشاردهندگان توزیع می‌کند. در مرحله دو، این سهمیه‌ها در بازار مبادله می‌شود. اگر تعداد سهمیه‌ها به‌خوبی تعریف شده باشد، قیمتی پدید می‌آید و برابر با قیمت بهینه‌ای خواهد بود که بتواند آلودگی را تا حد مطلوب کاهش دهد، اما اگر تعداد مجوزهای قابل مبادله بیش از حد تعیین شود، کاهش انتشار کمتر از کاهش بهینه خواهد بود.

از این‌رو اقتصاددانان محیطزیست مدت‌هاست در تلاش‌اند تا سطح «بهینه» مقررات زیست‌محیطی را برای آلاینده‌ها، به ویژه CO_2 شناسایی کنند (کومار و مایتی[۶]، ۲۰۲۴). تعادل بین اقتصاد و محیطزیست معمولاً براساس بهینه‌یابی تعریف می‌شود (آنیکیاریکو و همکاران[۷]، ۲۰۲۱). از آن‌جا که پیامد هر سیاست زیست‌محیطی بر اقتصاد متفاوت است («دودا»[۸]، ۲۰۱۴)، بررسی اثرات اقتصادی این سیاست‌ها در چارچوب ادوار تجاری صورت می‌گیرد. فیشر و اسپرینگبورن (۲۰۱۱)، «هیوتل»[۹](۲۰۱۲)، «آنجلوپولوس» و همکاران[۱۰] (۲۰۱۰ ، ۲۰۱۳) اولین مطالعاتی هستند که عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی را در «مدلEDSGE RBC»[11] ارزیابی می‌کنند.

الگوی DSGE اولین بار در مقالات «فیشر»[۱۲] (۱۹۷۷) و «کیدلند» و «پرسکات»[۱۳] (۱۹۸۲) مطرح و وارد الگوسازی اقتصاد کلان شد. در این الگو، ادوار تجاری و نوسان‌های اقتصادی، ناشی از رفتار بهینه کارگزاران اقتصادی در واکنش به تکانه‌های حقیقی (به‌ویژه بهره‌وری کل عوامل تولید) است، قیمت‌ها و دستمزدها کاملاً انعطاف‌پذیر و انتظارات به‌صورت عقلایی شکل گرفته است. از این‌رو هیچ نقشی برای روند تغییر قیمت‌ها و

---

[1] Sidgwick
[2] Pigou
[3] Bator
[4] Baumol and Oates
[5] Coase
[6] Kumar and Maiti
[7] Annicchiarico
[8] Doda
[9] Heutel
[10] Angelopoulos
[11] Real Business Cycle
[12] Fisher
[13] Kydland and Prescott

سیاست‌های پولی و مالی در نظر گرفته نمی‌شود. با این‌حال نتایج مطالعاتی نظیر کیم و لونگانی[1](۱۹۹۲) و روتمبرگ و وودفورد[2](۱۹۹۶) نشان می‌دهدکه برخلاف کیدلند، پرسکات و «هانسن»[3](۱۹۸۵)، چرخهٔ تجاری را نمی‌توان صرفاً با تکانه فناوری (TFP) توضیح داد. بر این اساس، «فین»[4](۱۹۹۱، ۲۰۰۰) نقش تکانه قیمت انرژی بر اقتصاد را مطالعه کرده است. او متغیر نرخ به‌کارگیری از سرمایه را در مدل معرفی و فرض می‌کند؛ تکانه قیمت انرژی با تغییر در نرخ به‌کارگیری سرمایه در اقتصاد منتشر می‌شود.

بنابراین به‌دنبال تکانه قیمت انرژی، به‌کارگیری سرمایه تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. زیرا انرژی و سرمایه دو نهاده مکمل هستند و استهلاک نیز به‌عنوان تابعی از نرخ کاربری سرمایه اقتصاد را متأثر می‌سازد. دلایل درون‌زا بودن متغیر نرخ کاربری سرمایه در مبانی نظری از دو جنبه مورد بررسی قرار گرفته است:

۱. از دیدگاه کیدلند و پرسکات، رابطهٔ تناسبی ثابتی بین ساعات کار انجام‌شده توسط سرمایه و نیروی کار وجود دارد (کشش جایگزینی صفر) و تنها هزینه به‌کارگیری سرمایه، هزینه ساعات کار است. در دیدگاه «گرینوود»، «هرکویتز» و «هافمن»[5](۱۹۸۸)، رابطهٔ تناسبی انعطاف‌پذیری بین ساعات به‌کارگیری سرمایه و ساعات به‌کارگیری نیروی کار وجود دارد (کشش جایگزینی واحد) و تنها هزینه به‌کارگیری سرمایه، هزینه استهلاک است. فین (۱۹۹۱) با گسترش این دیدگاه، هزینه انرژی را به‌عنوان یک هزینه دیگر به‌کارگیری سرمایه در نظر گرفته است. ۲. با فرض متغیر نرخ کاربری سرمایه در تابع تولید، اندازه‌گیری دقیق‌تری از میزان اهمیت و اثرگذاری تکانه قیمت انرژی و تکانه بهره‌وری بر تولید به‌دست می‌آید. «مک کالم»[6](۱۹۸۹)، «منکیو»[7] (۱۹۸۹) و «سامرز»[8] (۱۹۸۶)، در مورد نقش تکانه قیمت انرژی و نرخ کاربری سرمایه در مدل RBC چنین استدلال می‌کنند: این تکانه، یک اختلال طرف عرضه است و تأثیر زیادی بر عملکرد طیف وسیعی از صنایع دارد. در حالی‌که در مدل‌های کیدلند و پرسکات، پسماندهای سولو به‌عنوان معیاری از تغییرات تکنولوژی در نظرگرفته می‌شود و تمام تغییرات به غیر از نیروی کار و سرمایه را در قالب تغییرات TFP منعکس می‌کنند، از این‌رو یکپارچه‌کردن این اثرات نادیده‌گرفتن یک تمایز مهم (بین اثر انواع تکانه‌ها بر تولید) است و موجب می‌شود اثر تغییرات TFP بر ادوار تجاری بیش از حد ارزیابی شود.

به‌طور کلی مدل‌های EDSGE به دو دسته مدل متمرکز و غیر متمرکز تقسیم می‌شوند. مدل به‌کار رفته در این تحقیق از نوع EDSGE غیرمتمرکز است: یک بنگاه نماینده، به حداکثرسازی سود می‌پردازد و یک مصرف‌کننده نماینده، مطلوبیت را به حداکثر می‌رساند. با فرض این‌که بنگاه تأثیری را که آلودگی، بر بهره‌وری یا مطلوبیت دارد نادیده می‌گیرد، مدل غیرمتمرکز دارای یک اثر خارجی است، به‌طوری که راه حل غیر متمرکز،

[1] Kim. and Loungani
[2] Rotemberg and Woodford
[3] Hansen
[4] Finn
[5] Greenwood-Hercowitz- Huffman
[6] McCallum
[7] Mankiw
[8] Summers

دیگر یک راه حل بهینه اول (First Best) نخواهد بود و در نتیجه از این مدل می‌توان برای یافتن سطح کارا یا مسیر بهینه متغیرهای اقتصادی استفاده کرد و عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داد.

۳. پیشینهٔ پژوهش

تحقیقات خارجی انجام‌شده در حوزه مدل E-DSGE، در سه دسته قرار می‌گیرند: ۱. مطالعاتی که از الگوی بازارهای رقابت کامل و قیمت‌های انعطاف‌پذیر استفاده می‌کنند و در این مدل‌ها تکانه‌های عرضه منبع اصلی نوسانات اقتصادی هستند (آنجلوپولوس و همکاران (۲۰۱۰)، فیشر و اسپرینگبورن (۲۰۱۱)، هیوتل (۲۰۱۲)، «دیسو» و «کارنیزوا»[1] (۲۰۱۶) و خان و همکاران (۲۰۱۹)). ۲. مطالعاتی که عملکرد این سیاست‌ها را در چارچوب مدل‌های نیوکینزی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. («آنیکیاریکو» و «دی‌دیو»[2] (۲۰۱۵ و ۲۰۱۷)) ۳. مطالعاتی که عملکرد این سیاست‌ها را در شرایط اقتصاد باز و یا وجود نواقص بازار اعتبار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهند («جیمز»[3](۲۰۲۰)، «پانزی» و «چان»[4](۲۰۲۳)، «آنیکیاریکو» و «دایلوئیزو»[5](۲۰۱۹)، «اکونومیدیز» و «زیپاپادز»[6] (۲۰۱۹)، «هولدی و همکاران[7] (۲۰۱۹)، «ون‌دن‌بیگارت» و «اسمالدرز»[8] (۲۰۱۸)، دایلوئیزو و همکاران (۲۰۲۰)، «کارتینی» و همکاران[9] (۲۰۲۱)). موضوع این مقاله بیشتر در راستای مطالعات دسته اول قرار دارد. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد: ۱. انتشار آلودگی به‌طور طبیعی رفتار دوره‌ای دارد و سیاست سقف انتشار اثر تعدیل‌کننده بر چرخه تجاری دارد. این اثر با وجود چسبندگی‌های اسمی و سایر شرایطی که چرخه‌های تجاری را تشدید می‌کنند، تقویت می‌شود. ۲. با اعمال سیاست مالیات کربنی، تکانه مثبت بهره‌وری، تولید و انتشار کربن را افزایش می‌دهد. ۳. سیاست هدف شدت انتشار، نتایجی بین مالیات و سقف انتشار ارائه می‌دهد. ۴. تأثیر سیاست زیست‌محیطی بر نوسانات کلان اقتصادی، به منبع تکانه نیز بستگی دارد (خان[10] (۲۰۱۹)). تکانه قیمت انرژی نیز محرک مهمی در چرخه تجاری به‌نظر می‌رسد.

به‌طور کلی در مطالعات کمی، نقش متغیر نرخ کاربری سرمایه در مدل EDSGE RBC بررسی شده است. در مطالعه پانزی و چان (۲۰۲۳)، مدل آنیکیاریکو و دی‌دیو با فرض نرخ به‌کارگیری سرمایه توسعه یافته است. سؤال تحقیق این است: چگونه نوسان درون‌زا در نرخ کاربری سرمایه و مصرف انرژی، ناشی از تکانه قیمت انرژی، بر اقتصاد کلان تحت انواع سیاست‌های زیست‌محیطی اثر می‌گذارد. نتایج نشان می‌دهد نرخ کاربری سرمایه، مکانیسم انتقال تکانه را تقویت می‌کند.

---

[1] Dissou and Karnizova
[2] Di Dio
[3] Jaimes
[4] Punzi and Chan
[5] Diluiso
[6] Economides and Xepapadeas
[7] Holladay
[8] Van den Bijgaart and Smulders
[9] Carattini
[10] Khan

تعداد محدودی از مطالعات داخلی، نقش تکانه قیمت انرژی در ادوار تجاری را با استفاده از روش DSGE مورد مطالعه قرار داده‌اند («ابونوری» و «رجایی» (۱۳۹۱)، « رجایی » و همکاران (۱۳۹۲)، «فرازمند» و همکاران (۱۳۹۵) و «محمدی‌پور» و همکاران(۱۳۹۹)). نتایج نشان می‌دهد تکانه مثبت قیمت انرژی آثار رکودی به‌همراه دارد و حساسیت سرمایه‌گذاری نسبت به تکانه قیمت انرژی قابل توجه است. برخی مطالعات نیز سیاست‌های زیست‌محیطی را بدون در نظر گرفتن تکانه قیمت انرژی و نرخ درون‌زای کاربری سرمایه، در چارچوب مدلEDSGE RBC بررسی کرده‌اند («صمدی» و همکاران (۱۳۹۸)، «فدایی» و «آذری» (۱۳۹۹)، «میراسکندری» (۱۳۹۹) و «وهاب‌زاده‌مقدم» و همکاران (۱۴۰۱)).

نتایج آن‌ها نشان می‌دهد: ۱. سیاست مالیات و مجوز انتشار، آلودگی را کاهش و رفاه را افزایش می‌دهد. ۲. سیاست مالیات نسبت به مجوز انتشار، اثرات رفاهی و زیست‌محیطی کمتری به‌همراه دارد. ۳. انتخاب سیاست زیست‌محیطی بهینه، بستگی به اهداف ثانویه سیاست‌گذار (مصرف، سرمایه‌گذاری، اشتغال، تولید) دارد. ۴. کیفیت نهادی در کارآیی نسبی سیاست‌ها مؤثر است. با بهبود کیفیت نهادی، سقف انتشار نسبت به مالیات کربنی برتری دارد.

تعدادی از مطالعات نیز به بررسی نرخ کاربری سرمایه در اقتصاد ایران پرداخته‌اند («سیفی» و «دهقان‌پور» (۱۳۹۴)، «حافظی» و همکاران (۱۴۰۰)، «نوفرستی» و «نوروزی» (۱۳۹۱)). آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در اقتصاد ایران از همه موجودی سرمایه در فرآیند تولید استفاده نمی‌شود و نرخ به‌کارگیری سرمایه در طی زمان متغیر است. از آن‌جا که فرآیند سرمایه‌گذاری زمان‌بر است، بنگاه در مواجهه با افزایش تقاضا، نرخ استفاده از ظرفیت تولید را در بازه زمانی کوتاه‌مدت افزایش می‌دهد. از این‌رو نرخ کاربری سرمایه جهت تعیین حد مطلوب انباشت سرمایه مهم است (نوفرستی و نوروزی، ۱۳۹۱). به‌عنوان مثال در رکود، از تمام ظرفیت تولید استفاده نمی‌شود یا هنگام بروز یک شوک مثبت طرف تقاضا، در کوتاه‌مدت ضرورتی برای افزایش کلیهٔ عوامل تولید وجود ندارد (نوفرستی (۱۳۷۹)، «کفایی» و «خیراندیش» (۱۳۸۹)، «خسروی» (۱۴۰۰)).

٤. روش پژوهش

در یک قرن اخیر استفاده از روش‌های ریاضی و اقتصادسنجی در تحلیل اقتصادی گسترش یافته است. الگوهای اقتصادی براساس زمان متغیرها، به دو دسته ایستا و پویا و براساس تعادل بازار، به دو دسته جزئی و عمومی تقسیم می‌شوند. الگوی تعادل عمومی براساس بهینه‌یابی رفتار کارگزاران اقتصادی شکل می‌گیرد و در اقتصاد خرد و کلان کاربرد دارد. این الگو شامل دو دسته است: ۱. تعادل عمومی محاسبه‌پذیر (CGE[1]) و ۲. تعادل عمومی پویای تصادفی(DSGE). در مدل‌های DSGE، تعادل را می‌توان در دو چارچوب استخراج کرد: ۱. تعادل برنامه‌ریز مرکزی (متمرکز) ۲. تعادل رقابتی یا غیرمتمرکز. در این مقاله نقش نرخ کاربری سرمایه در اثرات اقتصاد کلان سیاست

[1] Computable General Equilibrium

زیست‌محیطی با استفاده از روش DSGE در یک اقتصاد بسته با تعادل غیرمتمرکز بررسی می‌شود. پایه مدل برگرفته از فیشر و اسپرینگبورن (۲۰۱۱)، کیم و لونگانی (۱۹۹۲) و فین (۲۰۰۰) است.

چند فرض اساسی در مدل وجود دارد : ۱. اقتصاد بسته دو بخشی (شامل خانوار و بنگاه) در نظر گرفته شده است و آلودگی ناشی از مصرف انرژی در فرآیند تولید ایجاد می‌شود. ۲. برای درونی‌کردن پیامدهای آلودگی در مدل، فرض می‌شود یک نهاد ناظر بر اجرای سیاست زیست‌محیطی، هزینه‌ای را که از بنگاه بابت ایجاد آلودگی و مصرف انرژی دریافت می‌کند بین خانوار توزیع خواهد کرد. این هزینه معادل Q_t است ($Q_t = P_{e,t} * e_t = (p_{e,t} + \lambda_{2,t}) *$ e_t). e_t میزان مصرف انرژی، $p_{e,t}$ قیمت انرژی و $\lambda_{2,t}$ هزینه ایجاد آلودگی به ازاء هر واحد مصرف انرژی است. از طرف دیگر Q_t در طرف عرضه اقتصاد و در رابطهٔ بهینه‌یابی مصرف انرژی توسط بنگاه نیز مشاهده می‌شود. از این‌رو با توجه به این‌که چه نوع سیاست زیست‌محیطی اعمال شود، عبارت معادل Q_t یعنی $(p_{e,t} + \lambda_{2,t}) * e_t$، در دو طرف اقتصاد تغییر خواهد کرد. ۳. اقتصاد فاقد دولت و بانک مرکزی است. زیرا بررسی سیاست‌های پولی و مالی به‌عنوان اهداف تحقیق در نظر گرفته نشده است و صرفاً برای سادگی مدل فرض می‌شود بنگاه‌ها هزینه‌ای را بابت ایجاد آلودگی به خانوار می‌پردازند. یک نهاد ناظر بر تحقق این مبادله نظارت دارد. ۴. از آن‌جا که انرژی یکی از نهاده‌های پر اهمیت در تولید است، افزایش قیمت آن باعث افزایش هزینه تولید و کاهش نرخ بهره‌برداری از ظرفیت‌های تولیدی می‌گردد و بروز بحران در اقتصاد را به‌همراه دارد. از دید طرف تقاضا نیز افزایش قیمت انرژی به‌واسطه کاهش سطح اشتغال و دستمزد، مصرف خانوار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این‌حال نقش درآمدهای نفتی در مدل‌سازی این مقاله وارد نشده است. طبق کارشناس (۱۳۸۲) اثرگذاری بخش نفت در کشورهای صادرکننده نفت بیش از این‌که به طور مستقیم بخش‌های اقتصادی را تحت تاثیر قرار دهد، به صورت غیر مستقیم و به واسطه متاثر ساختن مخارج دولت و سیاست‌های انقباضی بانک مرکزی بخش‌های اقتصادی را دستخوش تغییرات می‌کند (ابونوری و رجایی، ۱۳۹۱).

۱-٤. مسأله بهینه‌یابی خانوار

فرض می‌شود خانوارها رفتار مشابهی دارند. تابع مطلوبیت خانوار نماینده با طول عمر نامحدود و ریسک‌گریزی نسبی ثابت (CRRA[1]) و قید بودجه، در روابط ۱ و ۲ نشان داده‌شده است:

$$U_t(c_t, l_t) = \frac{\left(c_t^{\varphi}(1-l_t)^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}-1}{1-\alpha} \qquad \alpha > 1\,, \quad \varphi \in [0,1] \qquad (۱)$$

در رابطهٔ (۱)، c_t مصرف کالای نهایی و l_t عرضه نیروی کار در هر دوره را نشان می‌دهد. φ و α پارامترهای ترجیحات هستند. در رابطهٔ (۲)، $(c_t + i_t)$ ، مخارج خانوار و $w_t l_t$ و $r_t k_t u_t$ و T_t به ترتیب، درآمد خانوار حاصل از به‌کارگیری نهاده‌ها از جمله (عرضه نیروی کار، خدمات سرمایه و انرژی) و درآمد حاصل از اجرای سیاست زیست‌محیطی را نشان می‌دهند. u_t نرخ بهره‌برداری از سرمایه و $k_t u_t$ خدمات حاصل از کاربری سرمایه است.

[1] Constant Relative Risk Aversion

$$c_t + i_t = w_t l_t + r_t k_t u_t + Q_t \qquad (۲)$$

خانوار در هر دوره، درآمدش را به سرمایه‌گذاری (i_t) و مصرف کالای نهایی (c_t) تخصیص می‌دهد. قانون تحرک سرمایه و نرخ استهلاک در روابط (۳) و (۴) نشان داده شده است.

$$i_t = k_{t+1} - \left(1 - \delta(u_t)\right)k_t + \frac{B}{2}\left(\frac{k_{t+1}-k_t}{k_t}\right)^2 \qquad B > 0 \qquad (۳)$$

$$\delta(u_t) = \frac{\omega_0}{\omega_1} u_t^{\omega_1} \qquad \omega_0 > 0\,, \omega_1 > 1 \qquad \delta(.) \in]0,1[\qquad (۴)$$

آخرین عبارت در رابطهٔ (۳) هزینه تعدیل سرمایه را بیان می‌کند. نرخ استهلاک سرمایه تابع فزاینده از (u_t) است (فین،۲۰۰۰). مسأله بهینه‌یابی خانوار از تابع لاگرانژ (رابط ۵) حل می‌شود.

$$\mathcal{L} = \mathbb{E}\sum_{j=0}^{\infty} \beta^{t+j} \left\{ \frac{\left(c_{t+j}^{\varphi}\left(1 - l_{t+j}\right)^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha} - 1}{1-\alpha} + \lambda_{1,t+j}\left(w_{t+j}l_{t+j} + r_{t+j}k_{t+j}u_{t+j}\right.\right. \qquad (۵)$$
$$+ P_{e,t}e_t - c_{t+j} - k_{t+j+1} + \left(1 - \delta\left(u_{t+j}\right)\right)k_{t+j}$$
$$\left.\left. - \frac{B}{2}\left(\frac{k_{t+j+1} - k_{t+j}}{k_{t+j}}\right)^2\right)\right\}$$

٤-۲. مسأله بهینه‌یابی بنگاه

بنگاه از سه نهاده نیروی کار (l_t)، سرمایه ($k_t u_t$) و انرژی (e_t) برای تولید کالای نهایی استفاده می‌کند (فیشر و اسپرینگبورن، ۲۰۱۱). z_t در تابع تولید کاب داگلاس، بهره‌وری کل عوامل تولید است. زمانی که نهاد ناظر سیاست زیست‌محیطی را اجرا می‌کند، بنگاه با هزینه آلودگی علاوه بر هزینه مصرف انرژی مواجه می‌شود. مسأله بهینه‌یابی بنگاه را می‌توان در رابطهٔ ۶ نمایش داد که در آن $p_{e,t}e_t$ هزینه مصرف انرژی و $P_{e,t}$ قیمت نهایی انرژی با در نظر گرفتن قیمت آلودگی است ($P_{e,t} = p_{e,t} + \lambda_{2,t}$).

$$\min \quad w_t l_t + r_t k_t u_t + \left(p_{e,t} + \lambda_{2,t}\right)e_t \qquad (۶)$$

$$s.to. \quad y_t = (z_t l_t)^{\theta}(k_t u_t)^{\gamma} e_t^{1-\theta-\gamma}$$

٤-۳. سیاست زیست‌محیطی و قید منابع

در این تحقیق چهار سیاست زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است و فرض می‌شود هر واحد مصرف انرژی (e_t) منجر به انتشار μ واحد گاز گلخانه‌ای می‌شود: ۱. وضعیت پایه: عدم اعمال سیاست. ۲. سقف انتشار کربن: در این سیاست هدف نهاد ناظر این است که کل انتشار کربن (μe_t) از میزان مجوز انتشار (q_t^e)، فراتر نرود ($\bar{e}_t \equiv q_t^e \geq \mu e_t$). ۳. مالیات کربن: قیمت کربن به ازاء هر واحد انتشار و نرخ مالیات کربن توسط نهاد ناظر به‌طور برون‌زا تعیین می‌شود ($p_t^c = p_{e,t}\tau_t^c$). ۴. هدف شدت انتشار: انتشار به ازاء هر واحد تولید نباید از آستانه (A_t) فراتر رود ($\bar{e}_t \equiv$

$A_t = \mu {}^{e_t}/_{y_t}$). قیمت بهینهٔ کربن، در سیاست مجوز و هدف شدت انتشار، برآمده از تعادل عرضه و تقاضای مجوز انتشار در بازار است. قید منابع کل اقتصاد به صورت رابطهٔ ۷ معرفی می‌شود.

$$y_t = c_t + i_t + P_{e,t} e_t \quad (۷)$$

٤-٤. روابط تعادلی

روابط تعادلی مدل، با توجه به سیاست زیست‌محیطی و نرخ کاربری سرمایه به‌دست می‌آید:

$$\varphi w_t (1 - l_t) = (1 - \varphi) c_t \quad (۸)$$

$$r_t k_t = \omega_0 u_t^{\omega_1 - 1} k_t \quad (۹)$$

(۱۰)

$$\frac{\left(c_t^{\varphi}(1 - l_t)^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{c_t}\left(1 + \frac{B}{k_t}\left(\frac{k_{t+1} - k_t}{k_t}\right)\right)$$
$$= \beta \mathbb{E}_t \frac{\left(c_{t+1}^{\varphi}(1 - l_{t+1})^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{c_t}\left(r_{t+1} u_{t+1} + (1 - \delta(u_{t+1})) - B\left(\frac{k_{t+2} - k_{t+1}}{k_{t+1}}\right)\frac{k_{t+2}}{(k_{t+1})^2}\right)$$

$$w_t = \theta \frac{y_t}{l_t} \quad (۱۱)$$

$$r_t = \gamma {}^{y_t}/_{k_t u_t} \quad (۱۲)$$

(۱۳) با فرض اجرای سیاست سقف انتشار: $\kappa {}^{y_t}/_{e_t} = p_{e,t} + \lambda_2$

(۱۴) با فرض اجرای سیاست مالیات کربنی: $\kappa {}^{y_t}/_{e_t} = p_{e,t}(1 + \tau_e)$

(۱۵) با فرض اجرای سیاست هدف شدت انتشار: $\kappa {}^{y_t}/_{e_t} = p_{e,t} + p_t^c \bar{e}_t$

۱. مقداردهی (کالیبراسیون) پارامترها

از آن‌جا که معادلات تعادلی (سیستم معادلات) مدل بر حسب پارامترها به‌دست آمده است، برای کمی‌کردن مدل و محاسبه مقادیر متغیرهای تعادلی، از روش مقداردهی پارامترها استفاده می‌شود. برای این منظور سه راه وجود دارد: ۱. استفاده از مقادیر پارامترها در مطالعات پیشین ۲. استفاده از مقدار لحظه‌ای متغیرها در وضعیت ایستا (با فرض این‌که مدل در غیاب تکانه‌های تصادفی و حذف زمان، در حالت پایدار قرار دارد) ۳. استفاده از نسبت‌های بلندمدت متغیرهای کلان اقتصادی.

جدول ۱ : مقادیر کالیبراسیون پارامترها و مقادیر برخی متغیرها

Tab. 1: Calibration of parameters and values of some variables

پارامتر	مقدار	دوره زمانی	منبع
نرخ ترجیح زمانی ($\boldsymbol{\beta}$)	۰/۹۸		مطالعات اقتصادی مختلف
ضریب ریسک‌گریزی نسبی ($\boldsymbol{\alpha}$)	۱/۵		فخرحسینی (۱۳۹۳)
سهم مصرف در تابع مطلوبیت ($\boldsymbol{\varphi}$)	۰/۵		فخرحسینی (۱۳۹۳)
سهم نیروی کار از GDP ($\boldsymbol{\theta}$)	۰/۲۲۱	۱۳۵۷-۸۹	اسلاملوئیان (۱۳۹۳)
سهم نهاده آلاینده انرژی از GDP ($\boldsymbol{1-\theta-\gamma}$)	۰/۳۵۳	۱۳۵۷-۸۹	اسلاملوئیان (۱۳۹۳)
سهم نهاده سرمایه از GDP ($\boldsymbol{\gamma}$)	۰/۴۲۶	۱۳۵۷-۸۹	اسلاملوئیان (۱۳۹۳) مهرگان (۱۳۹۵) ($\boldsymbol{\gamma}$=۰.۴۷)
نرخ به‌کارگیری سرمایه ($\mathbf{u}$)	۰/۵۰	۱۳۸۱-۹۶	حافظی و همکاران (۱۴۰۰)
نرخ استهلاک سرمایه ($\boldsymbol{\delta}$)	۰/۰۴۲		محاسبات تحقیق
انتشار کربن به ازاء هر واحد مصرف انرژی ($\boldsymbol{\mu}$)	۱		
پارامتر هزینه تعدیل سرمایه ($\mathbf{B}$)	۱		
متوسط سهم ساعات هفتگی کار (عرضه کار) ($\mathbf{l}$)	۰/۲۶		محاسبات تحقیق
پارامتر تابع اتلاف انرژی ($\boldsymbol{\sigma}$)	۰.۲۳	۱۳۷۳-۹۱	کفایی و آقائیان‌وش (۱۳۹۵)
پارامتر $\boldsymbol{\omega_0}$ در تابع نرخ استهلاک سرمایه	۰/۱۷		محاسبات تحقیق
پارامتر $\boldsymbol{\omega_1}$ در تابع نرخ استهلاک سرمایه	۱/۴۷		محاسبات تحقیق
نرخ بهره تعادلی	۰/۱۲۴		محاسبات تحقیق

منبع: مطالعات پیشین و محاسبات تحقیق

پارامتر انتشار کربن به ازاء هر واحد مصرف انرژی (μ) به ۱ نرمالایز شده و فرض می‌شود هدف از اجرای سیاست، کاهش ۲۰٪ در انتشار کربن نسبت به مقدار آن در وضعیت ایستا است.

جدول ۲ : مقادیر مربوط به سیاست‌های زیست‌محیطی در وضعیت ایستا

Tab. 2: Values related to environmental policies in a static state

بدون سیاست	سقف انتشار کربن	هدف شدت انتشار	مالیات کربنی
q^e = ۰ ،e=۰/۱۸	q^e = ۰/۱۴۴	A = ۰/۳۲	τ^c = ۰/۱۰۳

منبع: مطالعات پیشین و محاسبات تحقیق

در این تحقیق دو نوع تکانه برون‌زا در نظر گرفته می‌شود : ۱. تکانه بهره‌وری کل عوامل تولید ۲. تکانه قیمت انرژی. فرض می‌شود بنگاه پذیرندهٔ قیمت انرژی است و صرفاً مقدار تقاضای انرژی را تعیین می‌کند. تکانه‌های بهره‌وری و قیمت انرژی از یک فرآیند خودرگرسیونی مانای مرتبهٔ اول AR(1) پیروی می‌کنند. پارامترهای مربوط به تکانه‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

$$\begin{cases} z_t = \rho_z z_{t-1} + \varepsilon_{z,t} \\ \varepsilon_{z,t} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_z^2) \end{cases} \qquad \begin{cases} p_{e,t} = \rho_{pe} p_{e,t-1} + \varepsilon_{pe,t} \\ \varepsilon_{pe,t} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{pe}^2) \end{cases} \tag{۱۶}$$

جدول ۳: کالیبراسیون پارامترهای مربوط به تکانه‌ها

Tab. 3: Calibration of parameters related to momentum

پارامترها		
ρ_{pe}	**ضریب خودهم‌بستگی تکانه قیمت انرژی**	۰/۸
σ_{pe}	**انحراف معیار پسماند رگرسیون قیمت انرژی**	۰/۰۷
ρ_z	**ضریب خودهم‌بستگی تکانه بهره‌وری کل عوامل تولید غیر نفتی (تکنولوژی)**	۰/۶۶
σ_z	**انحراف معیار پسماند رگرسیون بهره‌وری کل عوامل تولید غیر نفتی (تکنولوژی)**	۰/۰۱۵

منبع: مطالعات پیشین

۲. تحلیل‌های تجربی

برای شبیه‌سازی مدل، از «رویکرد اختلال»[1] استفاده می‌شود. مدل، از طریق نرم افزار داینر- متلب برای ۴۰ دوره شبیه‌سازی شده است و میانگین و انحراف معیار بلندمدت هر یک از متغیرها برای هر سیاست زیست‌محیطی در جدول ۴ ارائه می‌شود. با توجه به نتایج، اجرای سیاست زیست‌محیطی به‌ویژه سیاست سقف انتشار، میانگین متغیرهای اقتصاد (به جز متغیر عرضه نیروی کار و نرخ به‌کارگیری سرمایه) را نسبت به حالت پایه کاهش می‌دهد. هم‌چنین انحراف معیار متغیرها در سیاست سقف انتشار، نسبت به سایر سیاست‌ها کمتر است. انحراف معیار متغیر مصرف انرژی در سیاست سقف انتشار، صفر بوده و میانگین آن نیز در این حالت نسبت به سایر سیاست‌ها حداقل است.

جدول٤: میانگین و انحراف متغیرها برای هر سیاست زیست‌محیطی

Tab. 4: Mean and standard deviation of the variables for each environmental policy

سیاست‌ها	آماره‌ها	**c**	**i**	**y**	**k**	**l**	**e**	**u**
پایه	میانگین	۰/۲۹۱۶	۰/۲۳۶۷	۰/۸۱۶۶	۵/۵۳۷۹	۰/۳۷۳۷	۰/۲۹۳۱	۰/۵۰۶۵
	پراکندگی	۰/۰۳۲۹	۰/۱۴۴	۰/۲۵۰۳	۰/۸۹۹۲	۰/۰۶۲۶	۰/۱۰۲۳	۰/۱۰۹۷
سقف انتشار	میانگین	۰/۱۸۸	۰/۱۵۲۶	۰/۵۲۶۵	۳/۵۲۰۱	۰/۳۸۱۱	۰/۱۴۴	۰/۵۱۲۷
	پراکندگی	۰/۰۰۶۴	۰/۰۳۵	۰/۰۵۹۵	۰/۱۸۳۳	۰/۰۲۲۹	۰	۰/۰۰۴۹
	میانگین	۰/۲۴۶۹	۰/۲۰۰۴	۰/۶۹۱۴	۴/۶۷۰۵	۰/۳۷۵۳	۰/۲۲۱۲	۰/۵۰۷۹

[1] Perturbation

هدف شدت انتشار	پراکندگی	۰/۰۲۳۷	۰/۱۱۱	۰/۱۹۱۴	۰/۶۴۹۵	۰/۰۵۶۷	۰/۰۶۱۲	۰/۰۹۸۷
مالیات کربنی	میانگین	۰/۲۴۹۱	۰/۲۰۲۵	۰/۶۹۸۷	۴/۷۳۵۵	۰/۳۷۴۱	۰/۲۲۷۴	۰/۵۰۶۶
	پراکندگی	۰/۰۲۷۷	۰/۱۲۲۴	۰/۲۱۴	۰/۷۵۵۸	۰/۰۶۲۷	۰/۰۷۹۳	۰/۱۰۹۶

منبع: محاسبات تحقیق

این نتایج تجربی از شبیه‌سازی مدل با فرض متغیر درون‌زای نرخ کاربری سرمایه به‌دست آمده است. «سولو»[1](۱۹۹۹) تأکید کرده است که حتی اگر استهلاک در ادبیات نظری، ثابت در نظر گرفته شود، این فرض از لحاظ تجربی نادرست است. با توجه به نقش نرخ استهلاک سرمایه، در نظریه سرمایه‌گذاری یورگنسون[2] (۱۹۶۳)؛ می‌توان این نقش را در ارزیابی اثر اقتصادی سیاست‌های زیست‌محیطی در یک مدل DSGE نیز برجسته کرد. این در حالی است که اگر نرخ استهلاک سرمایه ثابت در نظر گرفته شود، دیگر در ارزیابی سیاست زیست‌محیطی نقش محوری نخواهد داشت. اما اگر فرض شود که نرخ استهلاک سرمایه درون‌زا است و در این صورت رابطهٔ نرخ استهلاک و نرخ کاربری سرمایه یک رابطهٔ مهم در مدل است که باید در نظر گرفته شود. فرض این‌که نرخ استهلاک سرمایه ثابت باشد در حالی که ثابت نیست، ممکن است منجر به ارزیابی غلط در مورد تأثیر سیاست‌های زیست‌محیطی بر اقتصاد کلان شود. برای درک نقش نرخ استفاده از سرمایه در مدل، توابع واکنش به ضربه متغیرهای اقتصاد کلان (از جمله مصرف، سرمایه‌گذاری، تولید) تحت انواع تکانه‌ها و سیاست‌های زیست‌محیطی برای دو حالت با هم مقایسه می‌شود: ۱. نرخ کاربری سرمایه درون‌زا، ۲. نرخ کاربری سرمایه ثابت (استفاده از کل موجودی سرمایه): $u_t = u = ۱$. برای این منظور معادله ۴ با معادله زیر جایگزین می‌شود:

$$\delta(u_t) \equiv \delta = ۰/۰۴۲ \qquad (۱۶)$$

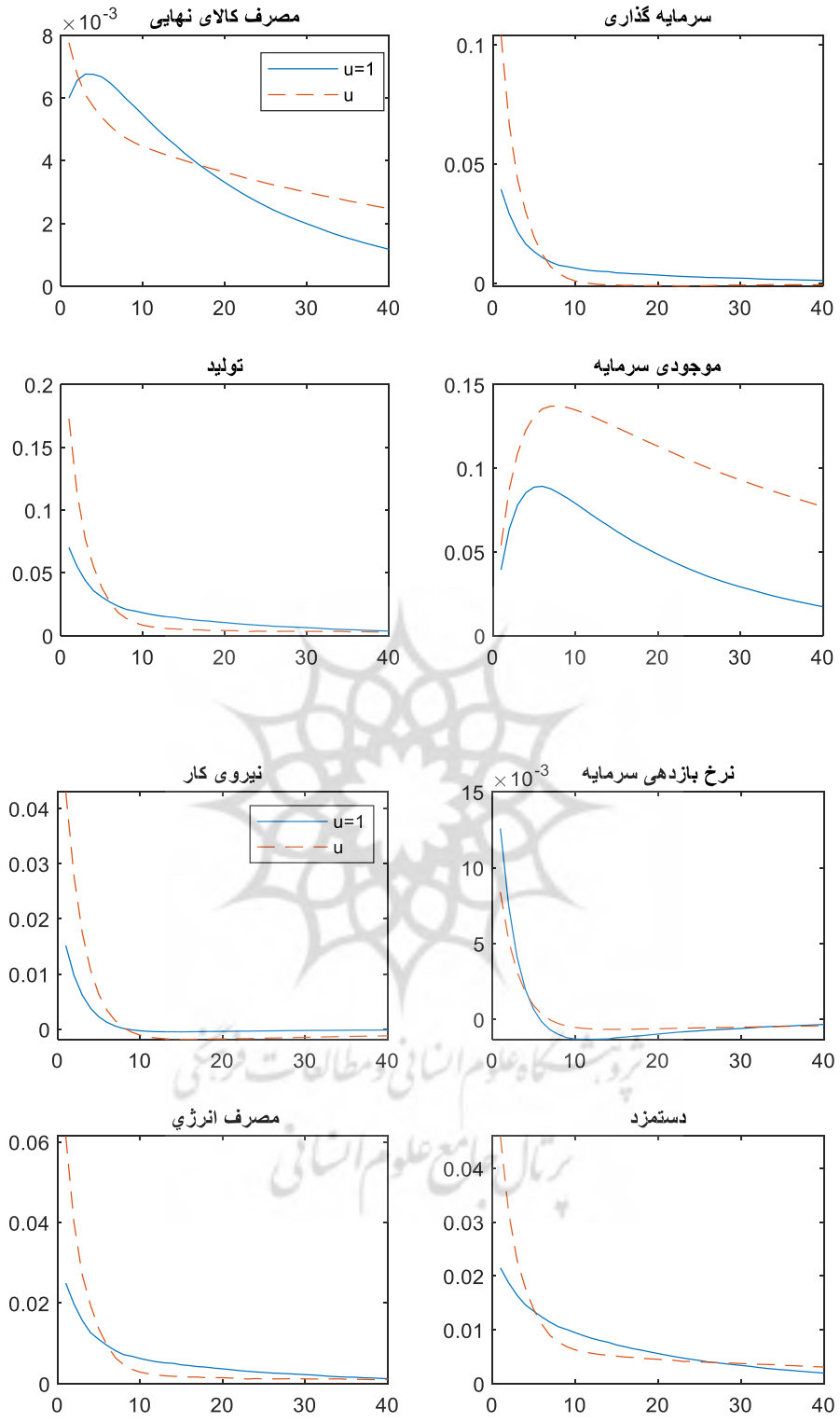
رابطهٔ ۳ و رابطهٔ ۱۰ اندکی اصلاح می‌شوند و رابطهٔ ۹ از مجموعه معادلات پویا حذف خواهد شد. با توجه به نمودارهای ۳ تا ۸ می‌توان نتایج مدل را برای هر سیاست زیست‌محیطی در دو حالت با هم مقایسه کرد: ۱. حالتی که نرخ به‌کارگیری سرمایه و نرخ استهلاک (فصلی)، ثابت در نظر گرفته شده است ($u_t = u = ۱$ و $\delta(u_t) \equiv \delta$ = ۰.۰۴۲). ۲. حالتی که نرخ به‌کارگیری سرمایه و نرخ استهلاک متغیر است. با توجه به نمودارها، واکنش متغیرها تحت انواع سیاست زیست‌محیطی متفاوت است. با وقوع تکانه مثبت بهره‌وری، از یک طرف عرضه و تقاضای کالای نهایی و از طرف دیگر تقاضا برای نهاده تولید (نیروی کار، سرمایه و انرژی) افزایش می‌یابد. به عبارتی بنگاه جهت برآورده‌ساختن تقاضا، ناگزیر است با شدت بیشتری از موجودی سرمایه (ظرفیت تولید) بهره‌برداری کند. این امر منجر به افزایش سرعت استهلاک سرمایه نیز خواهد شد. در این میان اگر سرمایه‌گذاری بیش از استهلاک سرمایه باشد، موجودی سرمایه افزایش خواهد یافت. با از بین رفتن اثر تکانه به مرور زمان، بنگاه با شدت کمتری از موجودی سرمایه استفاده می‌کند. در نتیجه سرمایه با سرعت کمتری مستهلک می‌شود و

[1] Solow
[2] Jorgenson

سرمایه‌گذاری نیز کاهش می‌یابد. در نهایت موجودی سرمایه برخلاف سایر متغیرها به سطح تعادل اولیه باز نمی‌گردد بلکه در گام اول فقط سرعت افزایش آن کندتر می‌شود و در گام بعدی کاهش خواهد یافت (زیرا از یک زمانی به بعد کاهش نرخ استهلاک کاهش سرمایه‌گذاری را جبران نخواهد کرد). این امر در بلندمدت می‌تواند تولید، مصرف و سرمایه‌گذاری را تحت تأثیر قرار دهد. البته با اجرای سیاست سقف انتشار کربن، قیمت کربن افزایش یافته و به همین جهت میزان نوسانات تقاضای انرژی، مصرف، تولید و سرمایه‌گذاری، در مقایسه با سیاست‌های مالیات کربنی و هدف شدت انتشار کربن کمتر می‌شود.

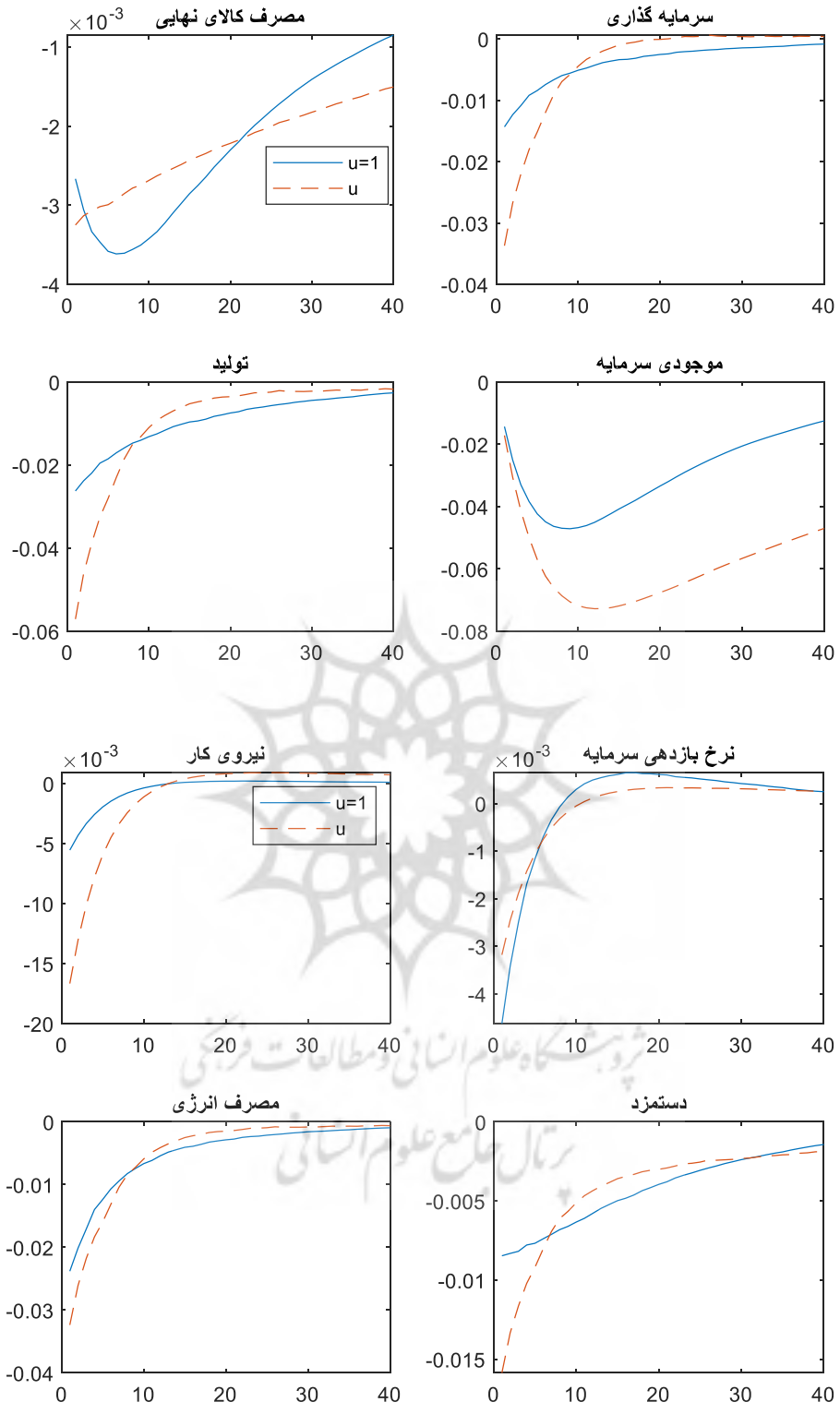
با وقوع تکانه مثبت قیمت انرژی، تولید، تقاضای کالای نهایی و تقاضای عوامل تولید کاهش می‌یابد. در نتیجه بنگاه از موجودی سرمایه با شدت کمتری در فرآیند تولید استفاده می‌کند. از این‌رو نرخ استهلاک سرمایه نیز کاهش می‌یابد. حال اگر میزان کاهش نرخ بهره‌برداری از موجودی سرمایه کمتر از کاهش سرمایه‌گذاری باشد، موجودی سرمایه کاهش می‌یابد. با از بین رفتن تکانه طی زمان، مصرف، سرمایه‌گذاری و تولید به تعادل اولیه باز می‌گردد. در نتیجه با از بین رفتن اثر تکانه، با این‌که بنگاه با شدت بیشتری از موجودی سرمایه استفاده می‌کند اما چون در سطح پایین‌تری از موجودی سرمایه، نرخ بهره‌برداری از سرمایه افزایش یافته است، موجودی سرمایه به تعادل اولیه باز نمی‌گردد، بلکه ابتدا سرعت کاهش موجودی سرمایه کمتر خواهد شد و سپس با افزایش سرمایه‌گذاری نسبت به نرخ استهلاک، موجودی سرمایه افزایش خواهد یافت.

در این میان عملکرد سیاست مالیات کربنی مشابه با وضعیت عدم اعمال سیاست است. چون مالیات کربنی تنها یک هزینه ثابتی بر قیمت کربن است. اما با اجرای سیاست سقف انتشار و هدف شدت انتشار، تقاضا برای حق آلایندگی و در نتیجه قیمت کربن کاهش می‌یابد و اثر افزایش قیمت انرژی را خنثی می‌کند. با ثابت‌ماندن کل قیمت نهایی (قیمت کربن + قیمت انرژی) تقاضا برای انرژی ثابت باقی می‌ماند. در نتیجه در این وضعیت مصرف، تولید و سرمایه‌گذاری با این تکانه چندان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. با این‌حال وقتی بنگاه از کل موجودی سرمایه استفاده می‌کند (نرخ استهلاک ثابت و کاربری سرمایه یک است)، مدل نسبتاً کمتر به ادوار تجاری ناشی از تکانه‌ها واکنش نشان می‌دهد. یعنی میزان انحراف متغیرهای مدل از وضعیت ایستا، کاهش می‌یابد. زیرا بنگاه قادر به افزایش یا کاهش موجودی سرمایه در پاسخ به ادوار رشد یا انقباض اقتصادی نیست، هم‌چنین سرعت بازگشت متغیرها به تعادل ایستا، کمتر از زمانی است که نرخ کاربری سرمایه، متغیر در نظر گرفته شده است. از این‌رو ممکن است به اشتباه این برداشت صورت گیرد که سیاست زیست‌محیطی باعث کاهش نوسانات شده است و اثر سیاست بیش از حد ارزیابی شود. این نتایج با نتایج مطالعه پانزی و چان (۲۰۲۳)، مبنی بر تقویت مکانیسم انتقال تکانه توسط نرخ کاربری سرمایه مطابقت دارد.



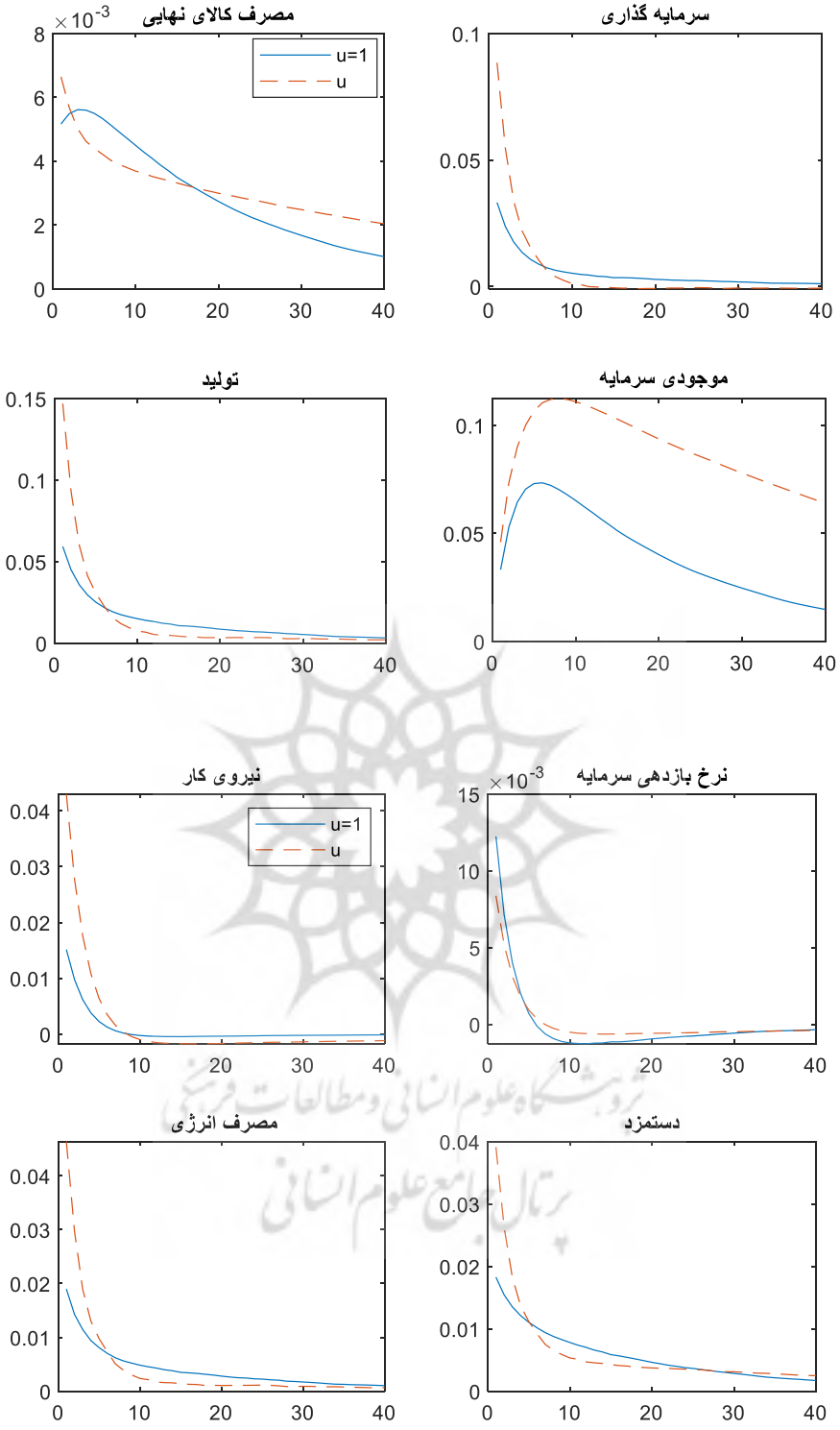
نمودار ۳: واکنش متغیرهای مدل به تکانه مثبت TFP در مدل پایه با در نظر گرفتن u ثابت و متغیر (منبع: یافته‌های تحقیق).

Graph. 3: The response of model variables to the positive momentum of TFP in the basic model considering constant and variable u (Source: Research Findings)



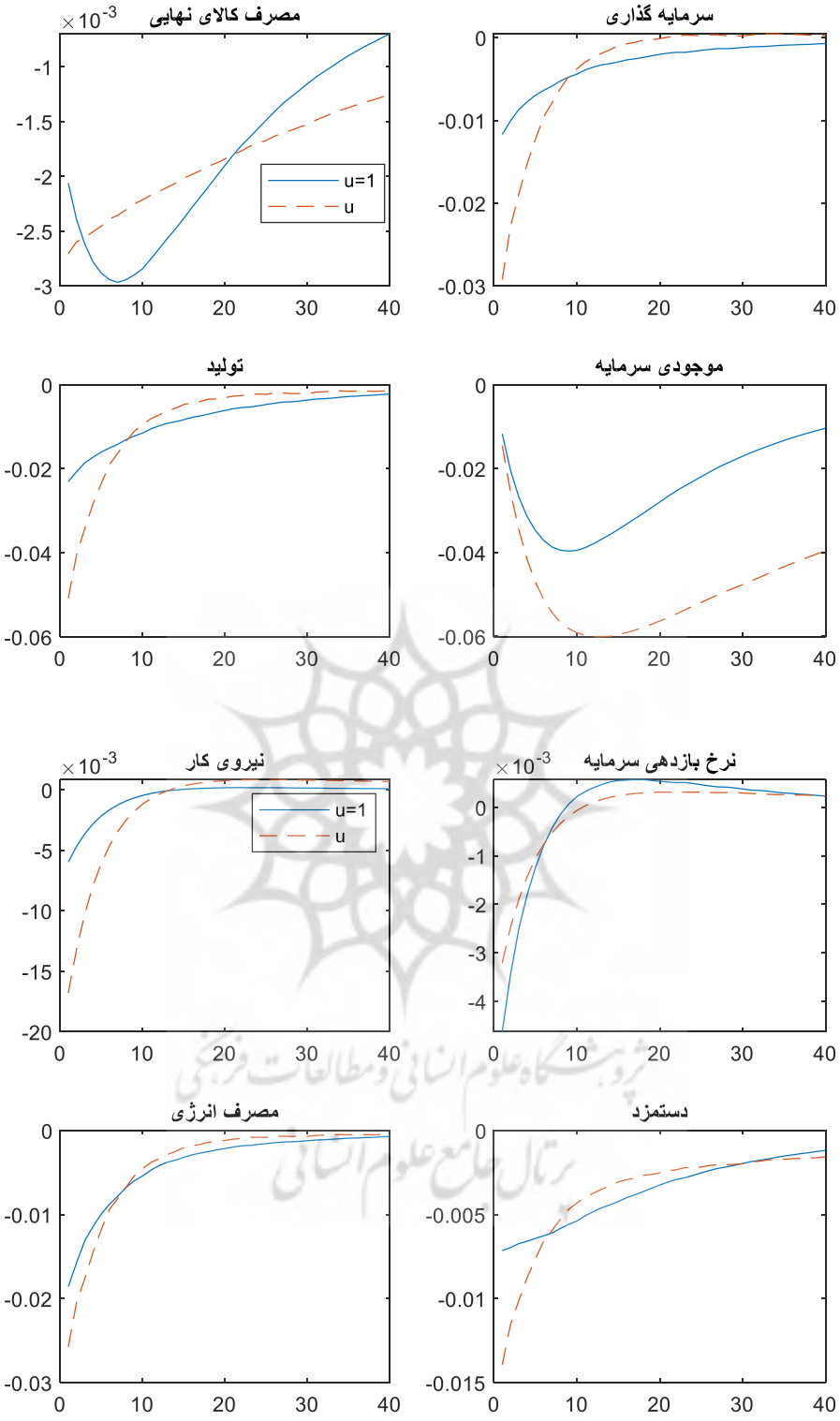
نمودار ٤ : واکنش متغیرهای مدل به تکانه مثبت قیمت انرژی در مدل پایه با فرض u ثابت و متغیرمنبع: یافته‌های تحقیق

Graph. 4: The reaction of the model variables to the positive momentum of the energy price in the basic model with the assumption of constant and variable u (Source: Research Findings)



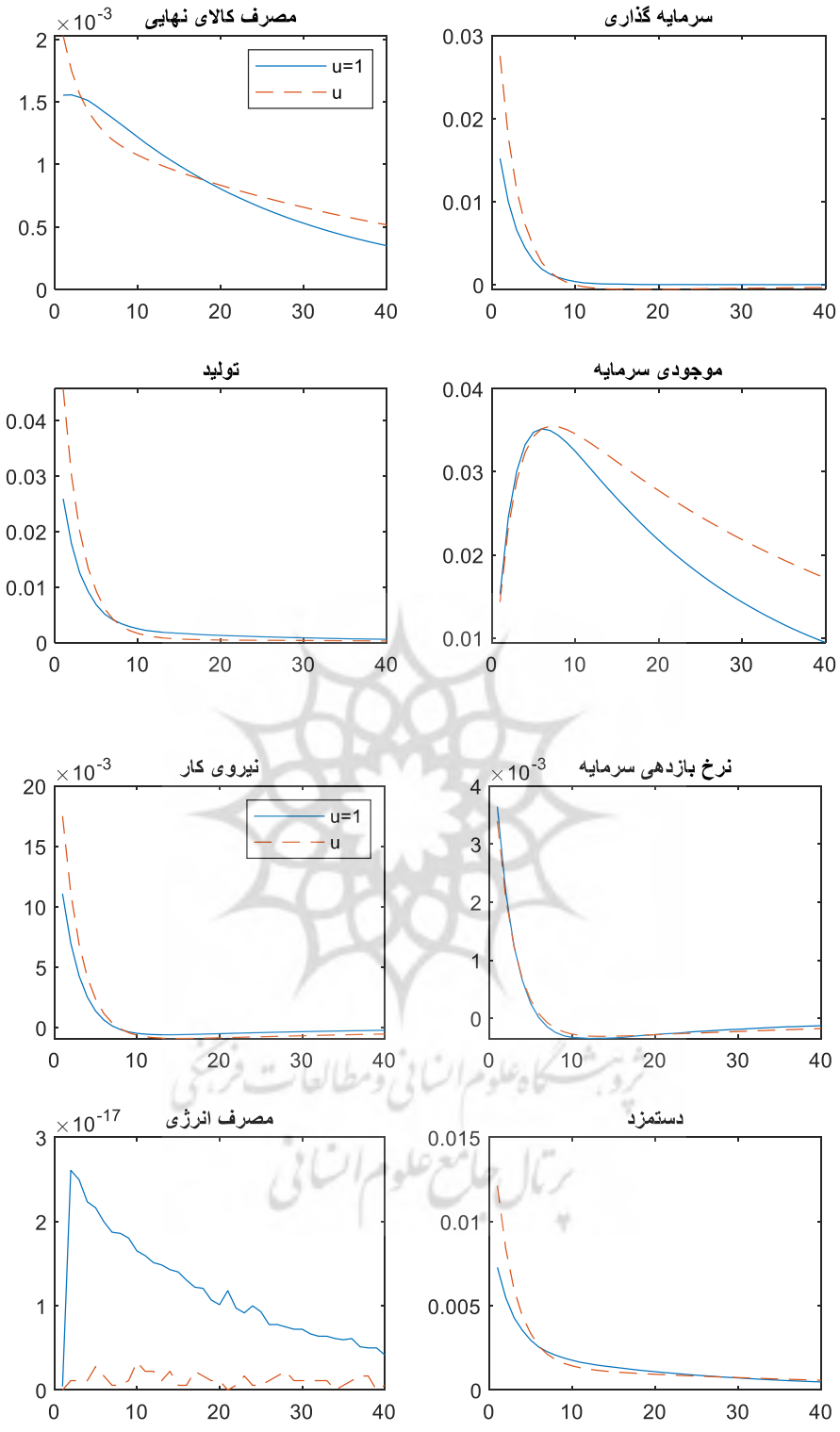
نمودار ۵: واکنش متغیرهای مدل به تکانه مثبت TFP در مدل مالیات کربنی با فرض u ثابت و متغیر (منبع: یافته‌های تحقیق).

Graph. 5: The reaction of model variables to the positive momentum of TFP in the carbon tax model with the assumption of constant and variable u (Source: Research Findings)



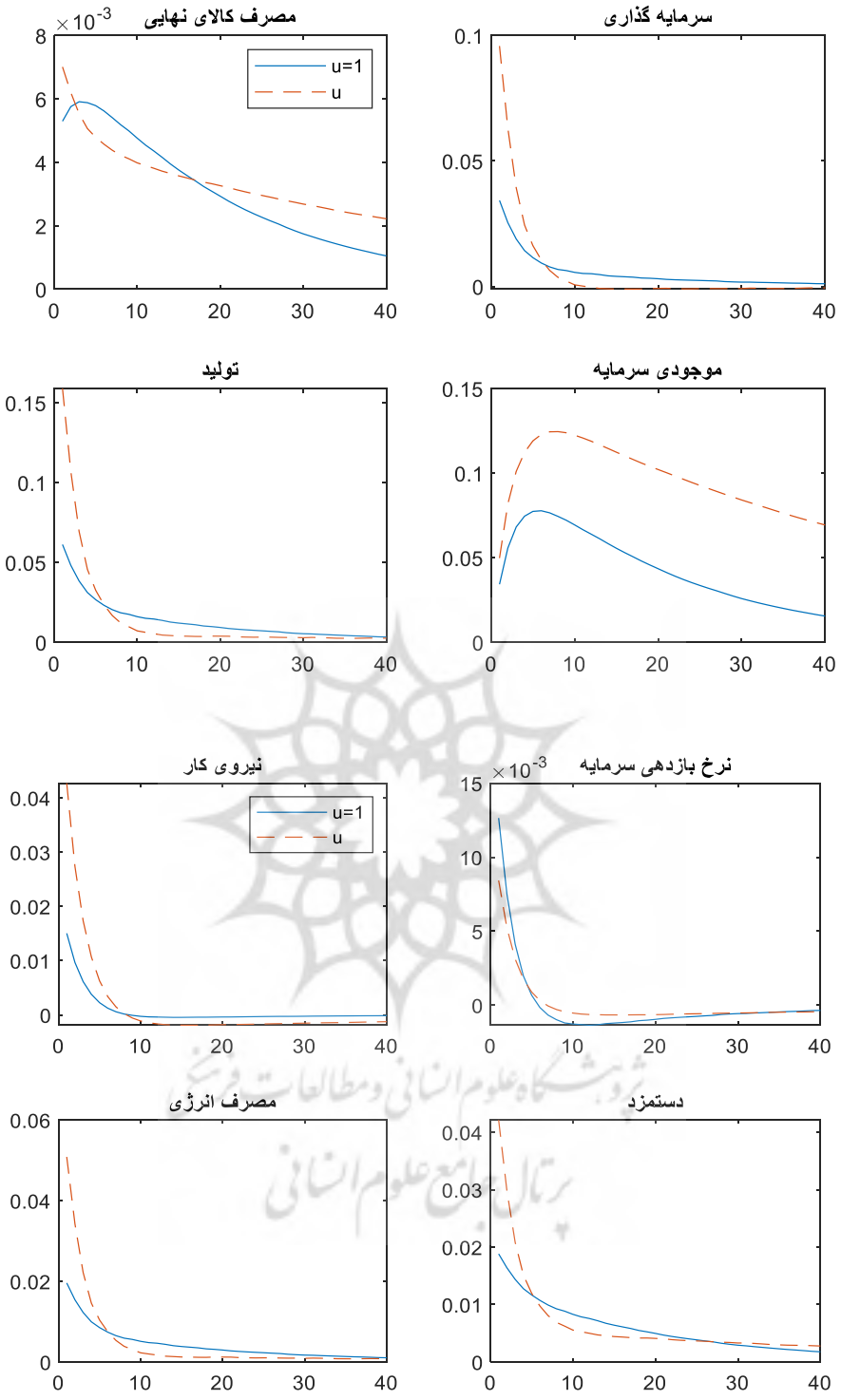
نمودار ٦: واکنش متغیرهای مدل به تکانه مثبت قیمت انرژی در مدل مالیات کربنی با u ثابت و متغیر(منبع: یافته‌های تحقیق).

Graph. 6: The reaction of the model variables to the positive energy price momentum in the carbon tax model with the assumption of constant and variable u (Source: Research Findings)



نمودار ۷: واکنش متغیرهای مدل به تکانه مثبت TFP در مدل سقف انتشار با فرض u ثابت و متغیر (منبع: یافته‌های تحقیق).

Graph. 7: The reaction of model variables to the positive momentum of TFP in the Carbon Emission Cap model with the assumption of constant and variable u (Source: Research Findings)



نمودار ۸: واکنش متغیرهای مدل به تکانه مثبت TFP در مدل هدف شدت انتشار با u ثابت و متغیر (منبع: یافته‌های تحقیق).

Graph. 8: The response of model variables to the positive momentum of TFP in Carbon Emission Intensity Target model with the assumption of constant and variable u (Source: Research Findings)

۵. نتیجه‌گیری

امروزه محدودکردن انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌منظور حفاظت از محیط‌زیست و مبارزه با گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم، از اولویت‌های جامعه بین الملل است. از این‌رو دستیابی به هدف کاهش انتشار CO_2 با استفاده از اقدامات سیاستی، نگرانی فعالان اقتصادی را برای عبور از گذار به اقتصاد کم‌کربن، افزایش داده است. هدف اصلی در تعیین سیاست زیست‌محیطی بهینه این است که انتشار کربن با حداقل نوسان و بی‌ثباتی اقتصادی کاهش یابد. این مقاله به بررسی نقش نرخ استفاده از سرمایه در ارزیابی عملکرد سیاست‌های زیست‌محیطی می‌پردازد که تاکنون در ادبیات اقتصاد ایران نادیده گرفته شده است. برای شبیه‌سازی مدل دو حالت در نظر گرفته شده است: ۱. نرخ کاربری سرمایه، یک و نرخ استهلاک، ثابت در نظر گرفته شده است (استفاده از کل موجودی سرمایه). ۲. نرخ به‌کارگیری سرمایه و نرخ استهلاک متغیر است. نتایج مدل نشان می‌دهد:

وقتی بنگاه از کل موجودی سرمایه استفاده می‌کند، مدل نسبتاً کمتر به ادوار تجاری ناشی از تکانه‌ها واکنش نشان می‌دهد. یعنی میزان انحراف متغیرهای مدل از وضعیت ایستا، کاهش می‌یابد. زیرا بنگاه قادر به افزایش یا کاهش موجودی سرمایه در پاسخ به ادوار رشد یا انقباض اقتصادی نیست، هم‌چنین سرعت بازگشت متغیرها به تعادل ایستا، کمتر از زمانی است که نرخ کاربری سرمایه، متغیر در نظر گرفته شده است. بنابراین از آن‌جا که سرمایه‌گذاری فرآیندی است که با هزینه همراه است، بین زمانی که تصمیم برای سرمایه‌گذاری گرفته می‌شود و زمانی که سرمایه مولد می‌شود، یک تأخیر در تعدیل چرخه‌ای متغیرهای اقتصادی اتفاق می‌افتد. اما زمانی که نرخ به‌کارگیری سرمایه متغیر در نظر گرفته می‌شود، بنگاه در زمان کوتاه‌تری، نسبت سرمایه به‌کار گرفته‌شده در تولید را با توجه به چرخه تجاری، افزایش یا کاهش می‌دهد.

از این‌رو با وقوع تکانه مثبت TFP، تولید و تقاضای عوامل تولید افزایش می‌یابد. افزایش تقاضا برای موجودی سرمایه در افزایش نرخ کاربری سرمایه منعکس‌شده و در نتیجه تقاضا برای انرژی را تقویت می‌کند. بنابراین در مقایسه با حالت نرخ کاربری سرمایه ثابت، مصرف انرژی، تولید و مصرف کالای نهایی بیشتر افزایش می‌یابد. از طرفی سیاست زیست‌محیطی نیز نقش مؤثرتری در کاهش مصرف انرژی ایفا می‌کند. سیاست زیست‌محیطی مانند افزایش هزینه انرژی عمل‌کرده و تقاضا برای مصرف انرژی و در نتیجه تولید را در مقایسه با سیاست پایه کاهش می‌دهد به‌طوری که تقاضا برای عوامل تولید و شدت به‌کارگیری سرمایه در تولید نیز کاهش می‌یابد و با کاهش مجدد مصرف انرژی، اثر بخشی سیاست زیست‌محیطی را تقویت می‌کند. با از بین رفتن تدریجی تکانه TFP، کاهش بیشتر نرخ کاربری سرمایه نسبت به نرخ استهلاک، سرعت بازگشت متغیرها به تعادل ایستا را افزایش می‌دهد. همین نتیجه‌گیری برای تکانه قیمت انرژی نیز صدق می‌کند.

ضمائم

۱. شرایط مرتبهٔ اول مسأله بهینه‌یابی خانوار:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial c_t} = 0 \Leftrightarrow \beta^t \left(\varphi \frac{(c_t^{\varphi}(1-l_t)^{1-\varphi})^{1-\alpha}}{c_t} - \lambda_{1,t} \right) = 0$$

$$\lambda_{1,t} = \varphi \frac{(c_t^{\varphi}(1-l_t)^{1-\varphi})^{1-\alpha}}{c_t}$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial l_t} = 0 \Leftrightarrow \beta^t \left(-(1-\varphi) \frac{\left(c_t^{\varphi}(1-l_t)^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{1-l_t} + \lambda_{1,t} w_t \right) = 0$$

از ترکیب شرط مرتبهٔ اول مصرف و عرضه نیروی کار، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$(1-\varphi)c_t = \varphi w_t (1-l_t) \quad , \quad w_t = \frac{1-\varphi}{\varphi}\left(\frac{c_t}{1-l_t}\right)$$

نرخ بهینه به‌کارگیری سرمایه $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial u_t} = 0 : (u_t)$

$$\lambda_{1,t}(r_t k_t - \delta'(u_t)k_t) = 0 \, , r_t k_t = \delta'(u_t)k_t \Leftrightarrow \; r_t = \delta'(u_t) = \omega_0 u_t^{\omega_1 - 1}$$

انباشت یا موجودی بهینه سرمایه:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial k_{t+1}} = 0 \Leftrightarrow \lambda_{1,t}\left(1 + \frac{B}{k_t}\left(\frac{k_{t+1}-k_t}{k_t}\right)\right)$$

$$= \beta \mathbb{E}_t \lambda_{1,t+1}\left(r_{t+1}u_{t+1} + \left(1-\delta(u_{t+1})\right) - B\left(\frac{k_{t+2}-k_{t+1}}{k_{t+1}}\right)\frac{k_{t+2}}{(k_{t+1})^2}\right)$$

$$\frac{\left(c_t^{\varphi}(1-l_t)^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{c_t}\left(1 + \frac{B}{k_t}\left(\frac{k_{t+1}-k_t}{k_t}\right)\right)$$

$$= \beta \mathbb{E}_t \frac{\left(c_{t+1}^{\varphi}(1-l_{t+1})^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{c_t}\left(r_{t+1}u_{t+1} + \left(1-\delta(u_{t+1})\right) - B\left(\frac{k_{t+2}-k_{t+1}}{k_{t+1}}\right)\frac{k_{t+2}}{(k_{t+1})^2}\right)$$

۲. معادلات نهایی (با فرض سیاست سقف انتشار):

$$y_t = c_t + i_t + (\exp(pe) + \lambda_2)e_t$$

سیاست زیست‌محیطی: $e - A$

$$i_t = k_{t+1} - \left(1-\delta(u_t)\right)k_t$$

$$\delta(u_t) = \frac{\omega_0}{\omega_1}u_t^{\omega_1}$$

$$y_t = (\exp(z_t).l_t)^{\theta}(k_t u_t)^{\gamma} e_t^{\kappa}$$

تابع اتلاف انرژی (کارآیی انرژی):

$$e = (1-\sigma)E$$

$$\varphi w_t(1-l_t) = (1-\varphi)c_t$$

$$r_t k_t = \omega_0 u_t^{\omega_1 - 1} k_t$$

$$\frac{\left(c_t^{\varphi}(1-l_t)^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{c_t}\left(1+\frac{B}{k_t}\left(\frac{k_{t+1}-k_t}{k_t}\right)\right)$$

$$= \beta \mathbb{E}_t \frac{\left(c_{t+1}^{\varphi}(1-l_{t+1})^{1-\varphi}\right)^{1-\alpha}}{c_t}\left(r_{t+1}u_{t+1} + \left(1-\delta(u_{t+1})\right) - B\left(\frac{k_{t+2}-k_{t+1}}{k_{t+1}}\right)\frac{k_{t+2}}{(k_{t+1})^2}\right)$$

$$w_t = \theta \frac{y_t}{l_t}$$

$$r_t = \gamma {y_t}/{k_t u_t}$$

$$\kappa {y_t}/{e_t} = \exp(pe) + \lambda_2$$

$$z_t = \rho_z z_{t-1} + \varepsilon_{z,t}$$

$$p_{e,t} = \rho_{pe} p_{e,t-1} + \varepsilon_{pe,t}$$

۳. معادلات ایستا و محاسبه برخی پارامترهای تحقیق

با حذف زمان و بدون در نظر گرفتن سیاست‌ها و تکانه‌ها در وضعیت ایستا، اقتصاد از طریق سیستم معادلات زیر مشخص می‌شود:

$$U(c,l) = \frac{(c^{\varphi}(1-l)^{1-\varphi})^{1-\alpha} - 1}{1-\alpha}$$

$$c + i = w l + r k u + P_e e$$

$$i = \delta(u)k$$

$$\delta(u) = \frac{\omega_0}{\omega_1} u^{\omega_1}$$

$$y = (z l)^{\theta}(k u)^{\gamma} e^{1-\theta-\gamma}$$

$$e = (1-\sigma)E$$

$$\varphi w (1-l) = (1-\varphi)c$$

$$1 = \beta\left(ru + 1 - \delta(u)\right)$$

$$r = \delta'(u)$$

$$r = \gamma \frac{y}{ku}$$

$$w = \theta \frac{y}{l}$$

$$A = \iota e$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\frac{k}{y}=\frac{\gamma}{\left({}^{1}/_{\beta}\right)-1+\delta(u)}=(۰,٤۲٦)\,/(۰,۰٦۲)=٦/۸۷$$

$$\frac{i}{y}=\delta(u)\frac{k}{y}=۰/۰٤۲ * ٦/۸۷=۰/۲۹$$

$$c+i=y\rightarrow\frac{c}{y}=1-\frac{i}{y}=۰/۷۱$$

$$y=(\ l)^{\theta}(6.87\,yu)^{\gamma}(0.353\,y)^{1-\theta-\gamma}\rightarrow y=۰/٥۱۳٥$$

برای تعیین مقدار پارامتر σ در تابع اتلاف انرژی، از مطالعه کفایی و آقائیان‌وش (۱۳۹۵) استفاده شده است. در این مقاله، متوسط کارآیی انرژی در اقتصاد ایران برای سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۱ م.، معادل ۰/۷۷ برآورد شده است. از این‌رو متوسط اتلاف انرژی ۰/۲۳ است. در صورت اجرای سیاست زیست‌محیطی، ضریب اتلاف انرژی (σ) صفر است. اما در صورت عدم اعمال سیاست، مقدار این ضریب ۰/۲۳ در نظر گرفته می‌شود.

$$E=۰/۲۳\quad e=۰/۱۸\quad c=۰/۳٦\quad i=۰/۱٥\quad k=۳/٥۳$$

$$w=\theta\frac{y}{l}=۰/٤٤$$

$$r=\gamma\frac{y}{ku}=۰/۱۲٤$$

$$\varphi=\frac{c}{w(1-l)+c}=۰/٥۱$$

با فرض مقادیر نرخ بهره تعادلی (۰/۱۲۴) (...)، نرخ استهلاک (۰/۰۴۲) و نرخ کاربری سرمایه (۰/۵)، مقادیر پارامترهای ω_0 و ω_1 به میزان ۰/۱۷ و ۱/۴۷ به‌دست می‌آید:

$$\left.\begin{array}{l}\delta(u_t)=\frac{\omega_0}{\omega_1}u_t^{\omega_1}\\ r_tk_t=\delta'(u_t)k_t\end{array}\right\}\rightarrow\begin{cases}0.124=\omega_0(0.5)^{\omega_1-1}\\ 0.042=\frac{\omega_0}{\omega_1}(0.5)^{\omega_1}\end{cases}\rightarrow\omega_0=۰/۱۷\omega_1=۱/٤۷$$

٤. کالیبراسیون سیاست‌های زیست‌محیطی:

جهت کالیبراسیون سیاست زیست‌محیطی، فرض می‌شود هدف از اجرای سیاست، کاهش۲۰ درصدی در انتشار گازهای گلخانه‌ای (یا مصرف انرژی) نسبت به مقدار آن در وضعیت ایستا است. در غیاب سیاست، مصرف انرژی در تعادل ایستا (۰/۱۸=۰/۳۵۳*۰/۵۱۳۵=e) تعیین شده است. از این‌رو برای کاهش ۲۰ درصدی در مصرف انرژی، تعداد مجوز انتشار در وضعیت ایستا با در نظر گرفتن سیاست سقف انتشار، (۰/۱۴۴=۰/۸(۰/۱۸)=q^e) به‌دست می‌آید. هم‌چنین با در نظر گرفتن سیاست هدف شدت انتشار، میزان آستانه ۰/۳۲=(۰/۱۴۴)/(۰/۴۴)=(A) تعیین می‌شود:

$$y=(0.26)^{0.221}(3.435y)^{0.426}(0.144)^{0.353}\Rightarrow y=0.44\Rightarrow A={}^{e}/_{y}=0.32$$

در نهایت، نرخ مالیات کربن τ^c= ۰/۱۰۳ در سیاست مالیات کربنی، از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$p_{e,t}(1+\tau_t^c\mu)=(1-\theta-\gamma)\,{}^{y_t}/_{e_t}\Rightarrow 1(1+1\tau_t^c)=0.353\left(\frac{1}{0.32}\right)=1.103\Rightarrow\tau_t^c=0.103$$

سپاسگزاری

در پایان، نویسندگان مقاله برخود لازم می‌دانند که از داوران ناشناس مقاله به خاطر رفع نواقص و بهبود مقاله قدردانی نمایند.

درصد مشترکت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند که به‌دلیل استخراج مقاله از رسالهٔ دکتری، نگارش توسط نویسندهٔ اول، با راهنمایی نویسندگان دوم و سوم انجام شده است.

تعارض منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

کتابنامه

– ابونوری، اسمعیل؛ و رجایی، محمدهادی ، (۱۳۹۱). «ارزیابی اثر تکانه قیمت انرژی بر متغیرهای اقتصاد کلان ایران: معرفی یک مدل تعادل عمومی پویای تصادفی». *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱(۲): ۱-۲۲. https://jiee.atu.ac.ir/article_3007.html

– اسلاملوئیان، کریم؛ و استادزاد، علی‌حسین، (۱۳۹۵). «برآورد تابع تولید مناسب برای ایران با وجود نهاده انرژی و تحقیق و توسعه: روش الگوریتم ژنتیک». *پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، ۱۶(۱): ۴۸-۲۱. DOR: 20.1001.1.17356768.1395.16.1.1.4

– حافظی بیرگانی، مهران؛ یوسفی، محمدقلی؛ دقیقی‌اصلی، علیرضا؛ و محمدی، تیمور، (۱۴۰۰). «بررسی عوامل مؤثر بر استفاده از ظرفیت تولیدی در صنایع کارخانه‌ای ایران». *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۱۵(۵۴): ۲۶۵-۲۳۹. DOR: 20.1001.1.25383833.1400.15.54.10.1

– خورسندی، مرتضی؛ و عزیزی، زهرا، (۱۳۹۱). «ترکیب مصرف و اثرگذاری انرژی بر رشد اقتصادی: کاربردی از رگرسیون غیر خطی انتقال ملایم». *فصلنامه اقتصاد، محیط‌زیست و انرژی*، ۱(۳): ۳۴-۱۷. https://jiee.atu.ac.ir/article_2598.html

– رجایی، محمدهادی؛ ابونوری، اسمعیل؛ شاهمرادی، اصغر؛ و تقی‌نژادعمران، وحید ، (۱۳۹۲). «اثرات اقتصاد کلان تکانه قیمت انرژی: در قالب یک الگوی DSGE». *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۹(۳۹): ۴۹-۲۱. URL: http://iiesj.ir/article-1-336-fa.html

– سیفی، احمد؛ و دهقان پور، محمدرضا، (۱۳۹۴). «بررسی نرخ بهره‌برداری از ظرفیت اقتصادی در صنعت تولید برق کشور طی سال های ۱۳۵۰-۱۳۸۸». *تحقیقات اقتصادی*، ۵۰ (۴): ۸۷۹-۸۶۱. https://doi.org/10.22059/jte.2015.56149

– شاکرین، شاهرخ؛ موسوی، سیدنعمت‌اله؛ و امینی‌فرد، عباس، (۱۴۰۱). «تحلیل اقتصادی زیست‌محیطی اتخاذ سیاست مالیات سبز در ایران با رویکرد تعادل عمومی قابل محاسبه». *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۱۱ (۴۲): ۲۱۸-۱۹۵. https://doi.org/10.22084/aes.2021.25078.3360

– صمدی، علی‌حسین؛ زیبایی، منصور؛ قادری، جعفر؛ و بهلولی، پریسا، (۱۳۹۸). «سیاست بهینه زیست‌محیطی، نااطمینانی و کیفیت نهادی: مطالعه موردی ایران». *فصلنامه پژوهشهای اقتصادی(رشد و توسعه پایدار)*، ۱۹(۱): ۸۲-۵۳ . URL: http://ecor.modares.ac.ir/article-18-16275-fa.html

– فدایی، مهدی؛ و آذری، سما، (۱۴۰۰). «نقش عدم تقارن انتشار و آسیب‌پذیری آلودگی بر سیاست‌های کاهش آلودگی: مطالعه سیاست‌های مالیات و استاندارد زیست‌محیطی». *پژوهشنامه اقتصادی*، ۲۰(۷۹): ۸۹-۵۴. https://doi.org/10.22054/joer.2021.59715.958

– فرازمند، حسن؛ آرمن، سیدعزیز؛ افقه، سیدمرتضی؛ و قربان‌نژاد، مجتبی، (۱۳۹۵). «ارزیابی اثرات اصلاح قیمت انرژی بر اقتصاد کلان ایران: رویکرد الگوهای تعادل عمومی تصادفی پویا (DSGE)». *فصلنامه نظریه های کاربردی اقتصاد*، ۳(۲): ۷۶-۴۹. https://ecoj.tabrizu.ac.ir/article_4996_0.html

– فخرحسینی، سید فخرالدین، (۱۳۹۳). «ادوار تجاری حقیقی تحت ترجیحات مصرفی و فراغت در اقتصاد ایران: رهیافت تعادل عمومی پویای تصادفی». *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۳(۱۱): ۱۰۶-۸۱. DOR: 20.1001.1.23222530.1393.3.11.4.0

– کفایی، سیدمحمدعلی؛ و آقائیان‌وش، پریانژاد، (۱۳۹۵). «برآورد و مقایسه کارآیی انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران». *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی*، ۷(۲۷): ۱۲۲-۹۷. DOR: 20.1001.1.24765775.1395.7.27.5.8

– مهرگان، نادر؛ عیسی‌زاده، سعید؛ عباسیان، عزت‌اله؛ و فرجی، ابراهیم، (۱۳۹۵). «برآورد وضعیت تعادلی اقتصاد ایران در چارچوب الگوهای ادوار تجاری حقیقی». *فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد*. ۳(۲): ۲۲-۱. https://ecoj.tabrizu.ac.ir/article_4983.html?lang=fa

– میراسکندری، راضیه، (۱۳۹۹). «نقش قواعد زیست‌محیطی بر ادوار تجاری حقیقی: رهنمودهای برای سیاست‌گذاری‌های محیطزیستی در اقتصاد ایران». *اقتصاد و تجارت نوین*، ۱۵(۴): ۱۶۷-۱۳۷. https://doi.org/10.30465/JNET.2020.6518

– نوفرستی، محمد؛ و نوروزی، زهرا، (۱۳۹۱). «واکنش سرمایه‌گذاری بخش خصوصی به هزینه استفاده از سرمایه، نااطمینانی و نرخ استفاده از ظرفیت‌های تولیدی». *اقتصاد و الگوسازی*، ۳(۱۱ و ۱۲): ۶۲-۴۴. https://ecoj.sbu.ac.ir/article_53515.html?lang=fa

– وهاب‌زاده مقدم، مرضیه‌سادات؛ امامی‌جزه، کریم؛ و حاجی‌حسنی، فرزانه، (۱۴۰۱). «نقش سیاست‌های اقتصادی و محیطزیست بر جلوگیری از آلودگی هوا». *فصلنامه علمی مدلسازی اقتصادی*، ۱۶(۵۹): ۱۷-۱. https://doi.org/10.30495/eco.2023.1976456.2719

- Abounouri, E. & Rajaie, M., (2013). "Evaluation of Energy Price Shock Effect on Macroeconomic Variables in Iran: Introducing a Dynamic Stochastic General Equilibrium Model". *Iranian Energy Economics*, 1(2): 1-22. https://jiee.atu.ac.ir/article_3007.html (In Persian).

- Angelopoulos, K., Economides, G. & Philippopoulos, A., (2010). *What is the best environmental policy? Taxes, permits and rules under economic and environmental uncertainty*. CESifo Working Paper Series 2980, CESifo Group. https://ideas.repec.org/p/bog/wpaper/119.html

- Annicchiarico, B., Carattini, S. F. & Heutel, C. G., (2021). *Business cycles and environmental policy: Literature review and policy implications*, NBER Working Paper No. 29032. https://www.nber.org/papers/w29032

- Annicchiarico, B. & Di Dio, F., (2015). "Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model". *Journal of Environmental Economics and Management*, 69: 1-21. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2014.10.002

- Annicchiarico, B. & Di Dio, F., (2017). "GHG emissions control and monetary policy". *Environmental and Resource Economics*, 67(4): 823-851. https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-016-0007-5

- Annicchiarico, B. & Diluiso, F., (2019). "International transmission of the business cycle and environmental policy". *Resource and Energy Economics*, 58: 101-112. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2019.07.006

- Bator, F. M., (1958). "The anatomy of market failure". *The Quarterly Journal of Economics*, 72(3): 351–379. https://doi.org/10.2307/1882231

- Baumol, W. J. & Oates, W. E., (1988). *The theory of environmental policy*. Cambridge University Press.

- Carattini, S., Heutel, G. & Melkadze, G., (2021). *Climate policy, financial frictions, and transition risk*. National Bureau of Economic Research Working Paper #28525. https://www.nber.org/papers/w28525

- Coase, R. H., (1960). "The problem of social cost". In: *Classic Papers in Natural Resource Economics*, 87–137. https://doi.org/10.1057/9780230523210_6

- Diluiso, F., Annicchiarico, B., Kalkuhl, M. & Minx, J.C., (2020). *Climate actions and stranded assets: The role of financial regulation and monetary policy*. CESifo WP no. 8486. https://www.cesifo.org/en/publications/2020/working-paper/climate-actions-and-stranded-assets-role-financial-regulation-and

- Dissou, Y. & Karnizova, L., (2016). "Emissions cap or emissions tax? A multi-sector business cycle analysis". *Journal of Environmental Economics and Management*, 79: 169-188. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.05.002

- Doda, B., (2014). "Evidence on business cycles and CO_2 emissions". *Journal of Macroeconomics*, 40: 214-227. https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2014.01.003

- Economides, G. & Xepapadeas, A., (2019). *The effects of climate change on a small open economy*. Bank of Greece Working Paper no. 267 https://ideas.repec.org/p/bog/wpaper/267.html

- Eslamloueyan, K. Ostadzad, A. H., (2016). "Estimating a production function for Iran with emphasis on energy and expenditure on research and development: An application of Genetic Algorithm method". *QJER*, 16(1): 21-48. http://ecor.modares.ac.ir/article-18-765-fa.html (In Persian).

- Fadaee, M. & Azari, S., (2020). "The role of emission and pollution vulnerability asymmetries in pollution reduction policies: Study of tax and environmental standard

policies". *Economics Research*, 20(79): 53-89. https://doi.org/10.22054/joer.2021.59715.958 (In Persian).

- Farazmand, H., Arman, S. A., Afghah, S. M. & Ghorbannezhad, M., (2016). "The effects of energy price reform on Iranian economy: Dynamic Stochastic General Equilibrium approach (DSGE)". *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 3(2): 49-76. https://ecoj.tabrizu.ac.ir/article_4996.html (In Persian).

- Finn, M. G., (1991). *Energy price shocks, capacity utilization and business cycle fluctuations.* Technical Report, Federal Reserve Bank of Minneapolis. https://ideas.repec.org/p/fip/fedmem/50.html

- Finn, M. G., (2000). "Perfect competition and the effects of energy price increases on economic activity". *Journal of Money, Credit and Banking*, 32(3): 400-416. https://doi.org/10.2307/2601172

- Fischer, C. & Springborn, M., (2011). "Emissions targets and the real business cycle: Intensity targets versus caps or taxes". *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(3): 352–366. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.04.005

- Fisher, S., (1977). "Long-term contracts, rational expectations, and the optimal money supply rule". *Journal of Political Economy*, 85(1): 191-205. https://www.jstor.org/stable/1828335

- Greenwood, J., Hercowitz, Z. & Huffman, G., (1988). "Investment capacity utilization and the real business cycle". *American Economic Review*, 78(3): 402-417. https://www.jstor.org/stable/1809141

- Hafezi Birgani, M., Gholi Yousefi, M., Daghighi Asli, A. & Mohammadi, T., (2020). "Determinants of capacity utilization in Iranian manufacturing industries". *Financial Economics Quarterly*, 54: 239-265. https://sanad.iau.ir/en/Article/1063231 (In Persian).

- Hansen, G., (1985). "Indivisible labor and the busmess cycle". *Journal of Monetary Economics*, 16: 309-327. https://doi.org/10.1016/0304-3932(85)90039-X

- Heutel, G., (2012). "How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks". *Review of Economic Dynamics*, 15(2): 244– 264. https://doi.org/10.1016/j.red.2011.05.002

- Hoel, M., (1992). "Carbon Taxes: An international tax or harmonized domestic taxes*?*". *European Economic Review*, 36(2–3): 400–406. https://doi.org/10.1016/0014-2921(92)90096-F

- Holladay, J., Scott, M. M. & Shreekar P., (2019). "Environmental policy instrument choice and international trade". *Environmental and Resource Economics*, 74 (4): 1585-1617. https://doi.org/10.1007/s10640-019-00381-4

- Hosseini, S. F., (2014). "Real Business Cycle under consumption and leisure

preferences in Iran: Dynamic Stochastic General Equilibrium Approach". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 3(11): 81-106.https://aes.basu.ac.ir/article_911.html (In Persian).

- Jaimes, R., (2020). *The dynamic effects of environmental and fiscal policy shocks.* University of Tilburg, mimeo. https://ideas.repec.org/p/col/000416/019466.html

- Jorgenson, D. W., (1963). "Capital theory and investment behavior". *The American Economic Review*, 53(2): 247–259. https://www.aeaweb.org/aer/top20/53.2.247-259.pdf

- Kafaie, M., & Nejadaghaeianvash, P., (2016). "Estimation and comparison of energy efficiency in Iran's economic sectors". *Journal of Economics and Modelling*, 7(27): 97-122. https://ecoj.sbu.ac.ir/article_52241.html (In Persian).

- Kaya, Y., Yokobori, K., *et al.*, (1997). *Environment, energy, and economy: strategies for sustainability*. United Nations University Press Tokyo. https://archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu17ee/uu17ee00.htm

- Khan, H., Konstantinos, M., Christopher, R. K. & Maya, P., (2019). "Carbon emissions and business cycles". *Journal of Macroeconomics*, 60: 1-19. https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2019.01.005

- Khorsandi, M. & Azizi, Z., (2012). "The combination of consumption and the effectiveness of energy on economic growh: An application of Smooth Transition Regression". *Iranian Energy Economics Research*, (3): 17-34. https://jiee.atu.ac.ir/article_2598.html (In Persian).

- Kim, I. M. & Loungani, P., (1992). "The role of energy in real business cycle models". *Journal of Monetary Economics*, 29(2): 173–189. https://doi.org/10.1016/0304-3932(92)90011-P

- Kumar, N. & Maiti, D., (2024). "Long-run macroeconomic impact of climate change on total factor productivity: Evidence from emerging economies". *Structural Change and Economic Dynamics*, 68: 204-223. https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.10.006

- Kydland, F. E. & Prescott, E. C., (1982). "Time to build and aggregate fluctuations". *Econometrica*, 50(6): 1345–1370. https://www.jstor.org/stable/1913386

- Mankiw, G., (1989). "Real business cycles: A new Keynesian perspective". *Journal of Economic Perspectives* , 3(3): 79-90. https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.3.3.79

- McCallum, B., (1989). "Real business cycles". in: Robert Barro, ed, *Modern Business Cycle theory* (Harvard University Press, Cambridge MA). https://www.econstor.eu/bitstream/10419/2172/3/262244519.pdf

- Mehregan, N., Isazadeh, S., Abbasian, E. & Faraji, E., (2016). "Estimating of the equilibrium situation of Iran's economy within RBC models". *Quarterly Journal of*

Applied Theories of Economics, 3(2), 1-22. https://ecoj.tabrizu.ac.ir/article_4983.html (In Persian).

- Mireskandari, R., (2020). "The role of environmental rules on real business cycles: Guidelines for environmental policy in Iran". *New Economy and Trade*, 15(4): 137-167. https://doi.org/10.30465/jnet.2020.6518 (In Persian).

- Noferesti, M. & Norouzi, Z., (2013). "Private investment response to user cost of capital, uncertainty and Capacity utilization rate". *Journal of Economics and Modelling*, 3(11-12): 44-62. https://ecoj.sbu.ac.ir/article_53515.html (In Persian).

- Pigou, A. C., (1920). *The economics of welfare*. Palgrave Macmillan. http://pombo.free.fr/pigou1920.pdf

- Punzi, M. T. & Chan, Y. T., (2023). "E-DSGE model with endogenous capital utilization rate". *Journal of Cleaner Production*, 414: 137640. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137640

- Rajaie, M., Abounouri, E., Shahmoradi, A. & Taghi Nezhad Omran, V., (2014) "The macroeconomic effects of energy price shocks: Introducing a Dynamic Stochastic General Equilibrium model". *QEER*, 9 (39): 1-19. http://iiesj.ir/article-1-336-fa.html (In Persian).

- Rotemberg, J. & Woodford, M., (1996). *Imperfect competition and the effects of energy price increases on economicactivity*. National Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.2307/2078071

- Samadi, A. H., Zibaei, M., Ghaderi, J. & Bahlouli, P., (2019). "Optimal environmental policy, uncertainty and institutional quality: The case of Iran". *QJER*, 19 (1): 53-82. http://ecor.modares.ac.ir/article-18-16275-fa.html (In Persian).

- Seifi, A. & Dehghanpoor, M. R., (2015). "Economic capacity utilization rate in Iran's electricity generation industry during 1350-1388". *Economic Research*, 50(4): 861-879 https://jte.ut.ac.ir/article_56149.html (In Persian).

- Shakerin, S., Mosavi, S. N. & Aminifard, A., (2022). "Economic-environmental analysis of adoption of green tax policy in Iran with calculable general balance approach". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 11(42):195-218. https://aes.basu.ac.ir/article_4315.html (In Persian).

- Sidgwick, H., (1901). *The principles of political economy*. Kraus Reprint. https://archive.org/details/principlesofpoli00sidguoft

- Solow, R. M., (1999). "Neoclassical growth theory". In: *Handbook of Macroeconomics*, 1, Part A.: 637-667. https://doi.org/10.1016/S1574-0048(99)01012-5

- Stern, N. & Stern, N. H., (2007). *The economics of climate change: The Stern Review*. Cambridge University press.

- Summers, L.,(1986). “Some skeptical observations on real business cycle theory”. *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, Papers and Proceedings, 80: 134-138. https://doi.org/10.21034/qr.1043

- Vahabzadeh Moghadam, M., Eami, K. & Haju, H., (2023). “The role of economic and environmental policies on preventing air pollution”. *Economic Modeling*, 59 (16): 1-17 https://sanad.iau.ir/en/Journal/eco/Article/995268 (In Persian).

- Uitto, J. I., (2016). “Evaluating the environment as a global public good”. *The journal Evaluation. Committee on Publication Ethics* (COPE). https://publicationethics.org/

- Van den Bijgaart, I. M. & Smulders, S., (2018). “Does a recession call for less stringent environmental policy? A partial-equilibrium second-best analysis”. *Environmental and Resource Economics*, 70(4): 807-834. https://doi.org/10.1007/s10640-017-0157-0

- Waggoner, P. E. & Ausubel, J. H., (2002). “A framework for sustainability science: A renovated ipat identity”. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12): 7860–7865. https://doi.org/10.1073/pnas.122235999

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی