

Investigating the Impact of Energy Security, Food Security, and Exogenous Climate Variable Shocks on Iran's Economic Resilience: A VARX Model Approach

Fateme Moghtadaei¹ | Narges Salehnia² | Mostafa Salimifar³

1. Ph.D. Candidate, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran. f.moghtadaei@mail.um.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran. n.salehnia@um.ac.ir
3. Professor, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran. mostafa@um.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 13 May 2026

Revised in revised form: 20 September 2026

Sunday Accepted: 1 October 2026

Thursday Published online: 2 October 2026

JEL: Q18, Q43, Q54, C32.

Keywords:

Energy Security,
food Security,
Economic Resilience,
Climate,
Iran

ABSTRACT

Economic resilience plays an important role in shaping the long-term growth pattern and is a prerequisite for the theory of endogenous growth. Therefore, this study, using the vector autoregressive model with exogenous variables (VARX) and seasonal data from spring 2001 to winter 2023, has examined the impact of energy, food security, and climate exogenous shocks on Iran's economic resilience. The instantaneous shock response function of economic resilience showed that after the energy security shock, it first strengthened, then became negative after a few periods, and then approached the previous equilibrium state. In contrast, after the food security shock, economic resilience increased, and then the positive shock effect was absorbed over time and the system approached a new equilibrium state. Climate shocks also create significant and stable fluctuations in the instantaneous shock response function of economic resilience. The cumulative response diagram of economic resilience showed that the positive effect of the energy security improvement shock on this variable is not stable and eventually becomes negative. But positive food and climate security shocks have a positive and sustained cumulative effect on economic resilience. The results of the analysis of variance of the forecast error also showed that in the short term, the majority of the fluctuations in economic resilience are explained by internal shocks to this variable. With an increase in the time horizon, the contribution of other variables, especially food security, in explaining changes in economic resilience increases. In a Granger and instant causality test as a complementary tool to accurately identify the communication channels between endogenous VARX variables, only the probability value of the Granger causality test for food security was obtained as 0.0017. This result indicates a significant Granger causality relationship at the 1% level. Therefore, food security disruptions play an important role in predicting changes in economic resilience and energy security. Based on the results of this instant causality test, only the probability value of the instant causality test from energy security to other variables is less than the significance level of 0.05. Therefore, the null hypothesis of no instant causality is rejected.

Cite this article: Moghtadaei, F., Salehnia, N., & Salimifar, M. (2026). Investigating the Impact of Energy Security, Food Security, and Exogenous Climate Variable Shocks on Iran's Economic Resilience: A VARX Model Approach. *Stable Economy Journal*, 7 (3), 169-184. DOI: 10.22111/sedj.2026.55355.1696



© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/sedj.2026.55355.1696

Extended Abstract

1. Introduction

Recent economic findings show that economic resilience plays an important role in shaping the long-term growth pattern and is a prerequisite for the theory of endogenous growth; therefore, reducing vulnerability and increasing economic resilience are essential conditions for achieving endogenous economic growth (Pourmataghi Alemani et al., 1402). The realization of resilience in practice is directly influenced by a set of structural, institutional, and economic factors. Among these factors, energy security is closely linked to the concept of economic resilience. Energy security represents the ability of an economy to provide continuous, affordable, and reliable energy resources in the face of shocks and fluctuations and directly affects the capacity of the economy to face crises (Asia and Pacific Energy Research Center, 2007; Edigarova, 2021). Meanwhile, despite having huge oil and gas resources, Iran is exposed to widespread fragility in the field of energy security due to mismanagement, unsustainable subsidy policies, old infrastructure structure, and international sanctions. (Raei et al., 2024; Bosso, 2025). Food security, like energy security, is considered one of the vital pillars of sustainable development and economic resilience. In this regard, the findings and reports of international institutions emphasize that in the framework of sustainable development, energy security and food security are two interconnected components and emphasize the need to examine these two areas in an integrated manner (FAO, 2018). Food insecurity increases inequality, poverty, social tensions, and reduces labor productivity (Mirzaei et al., 2024). In addition, it spreads nutrition-related diseases (Laraya, 2013). All of these things reduce a country's ability to weather a crisis. Past research has assessed food security in an unfavorable state (Arzhang et al., 2022; FAO, 2025). The complexity of the issue increases when climate change is added to it. Scientific research has predicted that the Middle East and North Africa region will be severely affected by it (Al-Dulaimi, 2020). Climate change is recognized as a multidimensional and escalating crisis that can affect various areas such as energy security (Alhil et al., 2024) and food security (Wang et al., 2013). Despite the expansion of studies related to economic resilience, a review of the literature shows that most previous research has examined the impact of energy security and food security on resilience separately. In most studies, the role of climate change is considered solely as an independent environmental factor, and its moderating effect on the relationship between energy security, food security, and economic resilience has been ignored. In light of the analysis of previous studies, this study is scientifically innovative in various aspects. First, the present study, with a systemic approach, simultaneously analyzes the two components of energy security and food security on economic resilience. Second, considering climate as an exogenous variable in the model and examining its shock to other variables distinguishes this study from other studies. Third, the economic resilience index was calculated for Iran by considering the environmental management component, the 5-dimensional energy security index, and the new Proteus food security index. Fourth, the mean-minimum aggregation function was used to calculate the three mentioned indicators. Next, a vector autoregressive model with exogenous variables (VARX) was used to examine the shocks.

2. Research Methodology

The statistical population of this study includes seasonal time series of the Iranian economy. The research period is considered based on access to reliable data, seasonal data from spring 2001 to winter 2023. The model variables include economic resilience, energy security, food security, and climate change. For the climate variable, the standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI) was used as an exogenous variable in the model. For the economic resilience variable, according to the purpose of the present study, the Brigoglio Economic Resilience Index, which was completed in 2014 by adding the environmental management component and has a comprehensive and multidimensional approach, was selected. For the energy security variable, the 5-dimensional energy security index for Iran was calculated. For the food security variable, the Proteus composite food security index was used. After data collection, the variables were different in terms of measurement units, so the units were standardized using the minimum-maximum standardization method, and finally, the indicators were aggregated and calculated using the average-minimum method. Due to the time limitation of the research data, in order to increase the number of observations, the annual data of the indicators were converted to seasonal data using the Denton- Cholette method. Next, the vector autoregressive model with exogenous variables (VARX) was used to examine the impact of energy security shock, food security shock, and climate exogenous variable (SPEI) on economic resilience.

3. Research findings

3.1. Stationarity test and determination of model lag: The VARX model depends on the reliability of the variables. Therefore, the reliability of each of the model variables was examined using the generalized Dickey-Fuller (ADF), Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), and Zayot-Andrews (ZA) tests. Based on the results, economic

resilience, energy security, food security and the SPEI variable were stationary. Next, three criteria, Akaike (AIC), Schwartz-Bazin (SBC), and Hannan-Quinn (HQ)) were used to determine the optimal interval of the VARX model. Based on the results, considering a maximum of 8 intervals for the variables, the optimal interval of two ($p = 2$) for endogenous variables and the optimal interval of zero ($m = 0$) for exogenous variables were selected for the model.

3.2. Post-estimation tests of the model

3.2.1. Model stability test: The results showed that all Eigenvalues have an absolute value less than one, and the largest Eigenvalue is 0.924. Since none of the Eigenvalue are outside the unit circle, the model stability assumption is confirmed.

3.2.2. Autocorrelation: For this purpose, the Living-Box (Q) statistic test was used at different intervals. Based on the results, since the probability value at the 95% confidence level is greater than 0.05 in all intervals, the null hypothesis of no autocorrelation in the residuals is not rejected.

3.2.3. Variance heterogeneity: In order to examine the assumption of homogeneity of conditional variance and the ARCH effects of the model residuals, the MARCH test was used at interval 8. Based on the results of the robust test, it can be concluded that the model residuals are free of conditional variance heterogeneity and the model is valid in terms of this assumption.

3.3. Block and Instantaneous Granger Causality Test: In the Granger causality test, by considering the exogenous variable, it is examined whether the interruptions of an endogenous variable can increase the accuracy of predicting the future values of other variables. (Anders, 2004). Based on the results, the only probability value of the Granger causality test for food security was obtained equal to 0.0017, which indicates a significant Granger causal relationship at the 1 percent level. Therefore, food security plays an important role in predicting changes in economic resilience and energy security. In the instant causality test, only the existence of a simultaneous relationship is examined. Based on the results of this test, the only probability value of the instantaneous causality test from energy security to other variables is less than the significance level of 0.05. Therefore, the null hypothesis of the absence of instantaneous causality is rejected.

3.4. Instantaneous and cumulative shock response functions: The instantaneous shock response function of the resilience variable after the energy security shock shows an increasing and positive trend and reaches its maximum value of 0.1540501 in period 6. After the peak, a downward curve and a half-life of four periods after the peak (this point occurs a total of about 10 periods after the initial shock) occur. It then reaches zero in period 12 and then enters the negative region, although the severity of the negative effect is limited and the system tends to approach an equilibrium state. In contrast, the economic resilience response function after a positive food security shock quickly becomes positive from the beginning of the period and increases sharply, reaching its maximum value of 1.445409 in period 9. Subsequently, the effect of the positive food security shock is absorbed over time, and the system approaches a new equilibrium state. Nine periods after the peak is the half-life of the shock effect. Given that this point occurs a total of about 18 periods after the initial shock, it can be concluded that the effect of the food security shock is persistent over time. Climate shocks also cause significant and sustained fluctuations in the response function to the immediate shock of economic resilience. However, these fluctuations do not get out of control and continue as a stable cycle in the period under study.

The cumulative response diagram of economic resilience showed that the positive effect of the energy security improvement shock on this variable is not sustainable and eventually becomes negative. Given this result, it can be said that the initial improvement in economic resilience is likely due to strengthening the aspects of energy supply and access, which reduces the production costs of energy-intensive industries and causes rapid improvement in production, employment, and economic indicators. However, increasing energy security, which is usually accompanied by increasing energy revenues, makes the government tend to increase current expenses, subsidies, and unproductive projects, which can be said to cause symptoms of Dutch disease in the Iranian economy. In addition, cheap and accessible energy reduces the pressure to improve productivity and the incentive to invest in new technologies such as renewable energy, the development of knowledge-based industries, and the diversification of the energy portfolio. As a result, economic resilience, after an initial period of improvement, finds a steady downward trend. However, positive food and climate security shocks have a positive and sustained cumulative effect on economic resilience. This result can be attributed to the fact that improving food security provides the basis for improving economic resilience by increasing households' sustainable access to food, reducing livelihood insecurity, and strengthening human capital. In such circumstances, households and firms gain greater ability to manage economic shocks, maintain consumption levels, and continue production activities. In addition, improving food security can have positive effects on the economy's capacity to adapt to crises by reducing social and economic pressures, increasing labor productivity, and strengthening income stability. Therefore, the cumulative and persistent effect observed in the response of economic

resilience indicates that improving food security is not just a short-term effect, but also contributes to strengthening the foundations of economic sustainability in the medium term.

3.5. Analysis of the variance of the forecast error: The results of the analysis of variance of the forecast error of the economic resilience variable in the time horizons studied showed that in the short term, the internal dynamics of economic resilience play the main role in explaining its fluctuations, and the effect of other variables has not yet been fully transmitted. With an increase in the time horizon, the contribution of food security grows significantly and explains part of the fluctuations of economic resilience. The contribution of energy security also increases, but this increase is relatively more limited. At the same time, the contribution of shocks to economic resilience itself decreases, indicating an increase in the role of external factors in determining the dynamics of economic resilience.

4. Conclusion

The present study aimed to investigate the mutual dynamics between economic resilience, energy security, and food security by considering climate shocks in the form of a VARX model. The results of preliminary tests showed that the research variables are statistically stable and the choice of the optimal interval of two is appropriate for endogenous variables. Diagnostic tests also indicated the stability of the model, the absence of autocorrelation in the residuals, and the absence of conditional variance heteroscedasticity. Therefore, the estimation results have the necessary econometric validity. The results of the instantaneous response functions showed that the positive response of economic resilience to energy security shocks is limited, and a negative effect is observed in subsequent periods, although the intensity of the negative effect is limited and the system tends to approach an equilibrium state. The cumulative response function showed that the positive food security shock on economic resilience is not sustainable over the period under study and eventually becomes negative. This positive response in the early period is likely due to strengthening access to and supply of energy, which, by reducing the production costs of energy-intensive industries, increases production and employment, and consequently resilience. A positive food security shock in the instantaneous shock response function of economic resilience has a positive effect on economic resilience from the beginning of the period, but in subsequent periods the positive effect decreases and the system approaches a new equilibrium state. In addition, the pattern of the cumulative response graph of resilience to food security shock shows an improvement in economic resilience during the period under study. This result shows that, unlike energy security, food security, due to its essential nature and direct relationship with human capital, has a positive and increasing cumulative effect on economic resilience. The climate shock, through the SPEI index, caused significant fluctuations in the instantaneous response curve of economic resilience. This indicates that economic resilience remains in a fluctuating and persistent pattern after the shock during the period under study. The cumulative response function also showed an improvement in economic resilience due to the climate shock. The results of the analysis of variance of the forecast error also showed that in the short term, the majority of the fluctuations in economic resilience are caused by internal shocks to this variable, and in the long term, food security has a significant contribution to explaining the fluctuations in economic resilience, and its role is more prominent than energy security. Finally, the results of this study showed that in a systemic framework, energy security, food security, and climate have a dynamic and interactive effect on economic resilience. Therefore, increasing the resilience of a society requires appropriate policymaking to reform energy policies and infrastructure, strengthen food security, and manage climate fluctuations.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: All ethical principles were strictly observed, and the study was conducted in accordance with relevant regulations.

Funding: This research received no specific grant from any funding agency, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contribution: This article is extracted from the Ph.D. dissertation of Fateme Moghtadaei (first author) conducted under the supervision of Dr. Narges Salehnia (corresponding author), and Dr. Mostafa Salimifar.

The authors contributed to the research and preparation of the manuscript as follows:

- Fateme Moghtadaei (50%): research design, data collection, methodology (VARX), software implementation (R), formal data analysis, interpretation of the results, and writing – original draft.
- Dr. Narges Salehnia (25%): Ideation, Supervision, manuscript review, validation, and providing suggestions to improve the quality and presentation of the manuscript.
- Dr. Mostafa Salimifar (25%): Supervision, manuscript review, validation, and providing suggestions to improve the quality.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgments: The authors would like to express their sincere gratitude to the editor, the reviewers, and the editorial board for their valuable comments and support.

بررسی تأثیر شوک‌های امنیت انرژی، غذایی و متغیر برون‌زای اقلیم بر تاب‌آوری اقتصادی

ایران: رویکرد مدل VARX

فاطمه مقتدائی^۱ | نرگس صالح‌نیا^۲ | مصطفی سلیمی‌فر^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران. رایانامه: f.moghtadaei@mail.um.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران. رایانامه: n.salehnia@um.ac.ir

۳. استاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران. رایانامه: mostafa@um.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	تاب‌آوری اقتصادی نقش مهمی بر شکل‌گیری الگوی رشد بلندمدت دارد و به عنوان پیش‌نیازی در جهت نظریه رشد درون‌زا است. بنابراین این مطالعه با به کارگیری مدل خودرگرسیون برداری با متغیر برون‌زا (VARX) و داده‌های فصلی دوره زمانی زمستان ۱۳۷۹ تا پاییز ۱۴۰۲، به بررسی تأثیر شوک‌های امنیت انرژی، غذایی و متغیر برون‌زای اقلیم بر تاب‌آوری اقتصادی ایران پرداخته است. تابع واکنش به ضربه آنی تاب‌آوری اقتصادی نشان داد که پس از شوک امنیت انرژی ابتدا تقویت، سپس پس از چند دوره منفی شده و در ادامه به وضعیت تعادلی قبلی نزدیک می‌گردد. در مقابل پس از شوک امنیت غذایی تاب‌آوری اقتصادی افزایش یافته، در ادامه اثر شوک مثبت به مرور زمان جذب شده و سیستم به وضعیت تعادلی جدید نزدیک می‌شود. شوک اقلیمی نیز نوسانات قابل توجه و پایدار در تابع واکنش به ضربه آنی تاب‌آوری اقتصادی ایجاد می‌کند. نمودار واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی نشان داد که تأثیر مثبت شوک بهبود امنیت انرژی بر این متغیر پایدار نیست و در نهایت منفی می‌گردد. اما شوک مثبت امنیت غذایی و اقلیمی اثر تجمعی مثبت و پایداری بر تاب‌آوری اقتصادی دارد. نتایج تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی نیز نشان داد که در کوتاه‌مدت بخش عمده نوسانات تاب‌آوری اقتصادی توسط شوک‌های درونی این متغیر توضیح داده می‌شود. با افزایش افق زمانی، سهم متغیرهای دیگر به‌ویژه امنیت غذایی در توضیح تغییرات تاب‌آوری اقتصادی افزایش می‌یابد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۲۳	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۶/۲۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۷/۹	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۷/۱۰	
JEL: Q18, Q43, Q54, C32.	
واژه‌های کلیدی:	
امنیت انرژی،	
امنیت غذا،	
تاب‌آوری اقتصادی،	
اقلیم،	
ایران	

استناد: مقتدائی، فاطمه، صالح‌نیا، نرگس و سلیمی‌فر، مصطفی (۱۴۰۵). بررسی تأثیر شوک‌های امنیت انرژی، غذایی و متغیر برون‌زای اقلیم بر تاب‌آوری

اقتصادی ایران: رویکرد مدل VARX. اقتصاد باثبات، ۷ (۳)، ۱۶۹-۱۸۴.

DOI: 10.22111/sedj.2026.55355.1696



حق مؤلف © نویسندگان.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

۱. مقدمه

بحران‌های طبیعی، اقتصادی و سیاسی همواره رشد پایدار و ثبات اقتصادی را تهدید کرده‌اند. بحران مالی ۲۰۰۸، توجه سیاست‌گذاران را به مفهوم تاب‌آوری اقتصادی^۱ جلب کرد. یافته‌ها نشان می‌دهند که افزایش تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری، از پیش‌شرط‌های دستیابی به رشد اقتصادی درون‌زا و پایدار است (پورمتقی آلمانی و همکاران، ۱۴۰۲). آسیب‌پذیری اقتصادی و تاب‌آوری اقتصادی دو مفهوم مرتبط می‌باشند. آسیب‌پذیری اقتصادی به‌عنوان ویژگی‌های اقتصادی دائمی (یا شبه دائمی) ذاتی در نظر گرفته شده که بیشتر کشور را در معرض شوک‌های خارجی قرار می‌دهد و تقریباً هیچ کنترلی بر آن ندارد. در مقابل تاب‌آوری اقتصادی توانایی اقتصادی ناشی از سیاست برای بازیابی یا تطبیق با تأثیرات منفی شوک‌های برون‌زای نامطلوب و بهره‌مندی از شوک‌های مثبت تعریف شده است (Guillaumont, 2008; Briguglio et al, 2009). تحقق این توانایی در عمل، به طور مستقیم تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل ساختاری، نهادی و اقتصادی قرار دارد. در میان این عوامل، امنیت انرژی با مفهوم تاب‌آوری اقتصادی پیوندی تنگاتنگ دارد. امنیت انرژی، توانایی اقتصاد در تأمین مستمر، مقرون‌به‌صرفه و قابل اتکا به منابع انرژی در مقابل شوک‌ها و نوسانات را نشان می‌دهد و مستقیماً بر ظرفیت اقتصاد در مواجهه با بحران‌ها تأثیر می‌گذارد (APERC^۲, 2007; Edigareva et al., 2021). اقتصادهایی که از امنیت انرژی بالاتری برخوردار هستند، نسبت به شوک‌های ژئوپلیتیکی و نوسانات قیمت انرژی آسیب‌پذیری کمتری دارند، چرا که دسترسی و پایداری انرژی باعث کاهش نوسانات تولیدی و ثبات بازارها می‌شود؛ این ویژگی، ساختار اقتصاد را مقاوم‌تر می‌سازد (Carvalho et al., 2013). اما کشورهای در حال توسعه به دلیل وابستگی مداوم به دانش فنی خارجی ناشی از محدودیت‌های فناوریانه، ضعف در حاکمیت، نبود زیرساخت‌های مقاوم و بازارهای باز و شفاف، بیشتر از سایر کشورها در معرض تهدیدهای مرتبط با انرژی قرار دارند (Feinstein, 2022). در این میان کشور ایران علیرغم داشتن منابع عظیم نفت و گاز، به دلیل سوءمدیریت، سیاست‌های یارانه‌ای ناپایدار، ساختار قدیمی زیرساخت‌ها و تحریم‌های بین‌المللی، در معرض شکنندگی گسترده در زمینه امنیت انرژی قرار گرفته است (Raei et al., 2024; Bousso, 2025).

¹ Economic resilience

² Asia Pacific Energy Research Center

امنیت غذایی نیز یکی از ارکان حیاتی توسعه پایدار و تاب‌آوری اقتصادی محسوب می‌شود. در همین راستا، یافته‌ها و گزارش‌های نهادهای بین‌المللی تأکید دارند که در چارچوب توسعه پایدار امنیت انرژی و امنیت غذایی دو مؤلفه به‌هم‌پیوسته هستند و بر ضرورت بررسی یکپارچه این دو حوزه تأکید دارند (FAO, 2018). ناامنی غذایی زمینه‌ساز افزایش فقر، نابرابری، ناآرامی‌های اجتماعی، کاهش بهره‌وری نیروی کار (Mirzaei et al., 2024) و گسترش بیماری‌های تغذیه‌ای (Laraia, 2013) است که همگی این موارد می‌توانند ظرفیت‌های تاب‌آوری اقتصاد ملی را تضعیف کنند. در این میان، شواهد پژوهشی حاکی از آن است که امنیت غذایی در ایران در وضعیت مطلوبی قرار ندارد (Arzhang et al., 2022; FAO, 2025). آنچه که این تعامل را پیچیده‌تر می‌کند مسئله تغییر اقلیم بوده که پیش‌بینی می‌شود تغییرات اقلیمی منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (Al-Delaimy, 2020). این یک بحران صرفاً محیط‌زیستی نیست، بلکه یک «شوک چندوجهی و مضاعف‌کننده» است و بر حوزه‌های گوناگون اقتصادی، از جمله امنیت انرژی (Alehile et al., 2024) و امنیت غذایی (Wang et al., 2013) اثرگذار است. با وجود گسترش مطالعات مرتبط با تاب‌آوری اقتصادی، مرور ادبیات نشان می‌دهد که بخش عمده پژوهش‌های پیشین، تأثیر امنیت انرژی، امنیت غذایی و تغییرات اقلیمی بر تاب‌آوری را به‌صورت مجزا بررسی کرده‌اند. در پرتو تحلیل مطالعات پیشین، این پژوهش از جنبه‌های مختلف واجد نوآوری علمی است. نخست، پژوهش حاضر با رویکردی سیستمی، به تحلیل هم‌زمان دو مؤلفه امنیت انرژی و امنیت غذایی بر تاب‌آوری اقتصادی می‌پردازد. دوم، لحاظ کردن اقلیم به عنوان یک متغیر برون‌زا در مدل و بررسی شوک حاصل از آن بر متغیر تاب‌آوری اقتصادی، این مطالعه را از سایر پژوهش‌ها متمایز می‌سازد. سوم، شاخص تاب‌آوری اقتصادی با در نظر گرفتن مؤلفه‌ی مدیریت زیست‌محیطی، شاخص امنیت انرژی ۵ بعدی و شاخص امنیت غذایی نوین پروتئوس برای کشور ایران محاسبه شده. چهارم، جهت محاسبه سه شاخص بیان شده، تابع تجمیع میانگین - حداقل بکار برده شده است. پنجم در این پژوهش از مدل خودرگرسیون برداری با متغیرهای برون‌زا (VARX) به عنوان ابزار تحلیل استفاده شده است. برخلاف مدل‌های کلاسیک و ایستا، مدل VARX این امکان را فراهم می‌آورد تا اثرات پویا و بلندمدت متغیرهای درون‌زا و برون‌زا (اقلیم) بر سیستم مورد سنجش قرار گیرد. ششم، تمرکز ویژه بر اقتصاد ایران به عنوان یک کشور غنی از منابع اما با چالش‌های ساختاری و تحریم‌های بین‌المللی، بستر منحصر به فردی را برای تحلیل روابط را فراهم می‌کند.

۲. مروری بر مبانی نظری و پیشینه

در چارچوب مفهومی این پژوهش، یک سیستم پویا متصور است که تاب‌آوری اقتصادی تحت تأثیر دو زیرساخت حیاتی امنیت انرژی و امنیت غذایی قرار دارد و شوک‌های اقلیمی به عنوان یک عامل برونزا، کل این سیستم را دستخوش تغییر می‌سازد. تبیین روابط مفهومی در سه سطح قابل ترسیم است: سطح اول، اثر مستقیم هر یک از ابعاد انرژی و غذا بر مؤلفه‌های تاب‌آوری است. سطح دوم، حلقه بازخورد دوسویه انرژی-غذاست؛ این بازخورد دوسویه، ضرورت نگاه سیستمی و یکپارچه به این دو حوزه را آشکار می‌سازد. سطح سوم، نقش اقلیم به عنوان یک عامل برون‌زاست که همزمان بر زیرساخت انرژی (مانند نیروگاه‌ها) و غذا (کاهش عملکرد محصولات) اثر گذاشته و از این دو مسیر، تاب‌آوری اقتصادی را متأثر می‌سازد. در ادامه، هر یک از این مؤلفه‌ها بر اساس مبانی نظری موجود به تفصیل واکاوی می‌شوند.

۲.۱. تأثیر امنیت انرژی بر تاب‌آوری اقتصادی

در چارچوب ارزیابی امنیت انرژی، چهار بُعد بنیادین در دسترس بودن^۱، دسترسی^۲، مقرون به صرفه بودن^۳ و مقبولیت^۴ زیست‌محیطی به عنوان ارکان اصلی امنیت انرژی می‌باشند (APER, 2007). هر یک از این ابعاد نقشی متمایز در تقویت تاب‌آوری اقتصادی ایفا می‌کنند. بُعد در دسترس بودن با تمرکز بر خودکفایی و کاهش وابستگی به واردات، اقتصاد را در برابر شوک‌های خارجی و تحریم‌ها محافظت می‌کند (Paravantis, 2019). بُعد دسترسی از طریق کانال‌های حمل و نقل امن و جنبه‌های ژئوپلیتیکی، تداوم فعالیت صنایع و ثبات زنجیره تأمین را تضمین می‌کند و از این طریق تاب‌آوری را تقویت می‌کند. بُعد مقرون به صرفه بودن با تأمین انرژی با قیمت رقابتی، هزینه‌های تولید را تثبیت کرده و با حمایت از اشتغال و فضای رقابتی، زیربنای تاب‌آوری را تقویت می‌کند (Babayomi et al., 2022). در نهایت، بُعد قابل قبول بودن با تأکید بر پایداری زیست‌محیطی و گذار به سمت منابع کم‌کربن، تعادلی میان رشد اقتصادی و حفظ محیط زیست ایجاد کرده و با کاهش آسیب‌پذیری در برابر نوسانات، محیطی پایدارتر را رقم می‌زند (Fang et al., 2018).

¹ Availability

² accessibility

³ affordability

⁴ acceptability

در سال‌های اخیر، ادبیات نظری امنیت انرژی فراتر از ابعاد سنتی حرکت کرده و بر ظرفیت انطباق بلندمدت نظام انرژی در برابر تحولات فناورانه و الزامات اقلیمی تأکید دارد. بر این اساس، مفهوم توسعه‌پذیری به‌عنوان بعد پنجم امنیت انرژی مطرح شده است. توسعه‌پذیری به توانایی نظام انرژی در سازگاری با الزامات گذار انرژی، کربن‌زدایی و تحول فناوری اشاره دارد و بیانگر ظرفیت بلندمدت اقتصاد برای حفظ پایداری و تاب‌آوری در مواجهه با تغییرات ساختاری آینده. پیوند این بعد با تاب‌آوری اقتصادی از منظر نظری این گونه است که اقتصادی با وابستگی بالا به منابع فسیلی، حتی در صورت برخورداری از امنیت انرژی کوتاه‌مدت، در بلندمدت در برابر شوک‌های اقلیمی، محدودیت‌های زیست‌محیطی و تحولات فناورانه آسیب‌پذیر باقی می‌ماند (Fang et al., 2018). بنابراین، توجه به توسعه‌پذیری نظام انرژی می‌تواند ظرفیت سازگاری اقتصاد و در نتیجه تاب‌آوری اقتصادی را در افق بلندمدت تقویت کند

۲.۲. تأثیر امنیت غذایی بر تاب‌آوری اقتصادی

چهار ستون امنیت غذایی شامل "دسترسی^۱ به مواد غذایی، دستیابی^۲ به مواد غذایی، استفاده^۳ از مواد غذایی و پایداری^۴ در دریافت مواد غذایی" می‌باشد (FAO, 2006). ابعاد امنیت غذایی شامل در دسترس بودن که با تولید داخلی متنوع و کاهش وابستگی تجاری، اقتصاد را در برابر شوک‌های خارجی و تورم مصون می‌کند (Karoliina et al., 2023). دستیابی که با تأمین اقتصادی و فیزیکی غذا، ناامنی خانوار را کاهش و ظرفیت مقاومت در برابر بحران‌ها را افزایش می‌دهد (Haile et al., 2022). استفاده که با تغذیه مناسب و بهبود بهره‌وری نیروی کار، سرمایه‌انسانی و انسجام اجتماعی را تقویت می‌کند (Murendo et al., 2023) و پایداری که با عدالت اجتماعی و توانمندسازی کشاورزان، تولید بلندمدت را تضمین کرده و آسیب‌پذیری‌های اقتصادی ناشی از فقر را کاهش می‌دهد (Xu et al., 2025).

۲.۳. ارتباط متقابل امنیت انرژی و غذایی و تأثیر آن بر تاب‌آوری اقتصادی

امنیت انرژی و امنیت غذایی دارای پیوندهای متقابل و وابستگی دوسویه هستند و اختلال در هر یک می‌تواند دیگری را نیز تحت تأثیر قرار دهد. با افزایش قیمت مواد غذایی (مثلاً بحران ۲۰۰۸-۲۰۰۷)

¹ availability

² access

³ utilization

⁴ stability

خانوارها درآمد خود را از انرژی به غذا منتقل می‌کنند. در نتیجه ناامنی غذایی، فقر انرژی را تشدید می‌کند. علاوه بر این کشاورزی مدرن به انرژی برای پمپ‌های آبیاری، ماشین‌آلات و کودها متکی است. فشار تقاضای مواد غذایی، تقاضای انرژی به ویژه در سیستم‌های وابسته به سوخت‌های فسیلی را افزایش می‌دهد (FAO, 2012). از طرفی امنیت انرژی نیز تأثیر بسزایی بر امنیت غذایی دارد، زیرا تولید و توزیع مواد غذایی فرآیندهای انرژی‌بر هستند و ابعاد در دسترس بودن، مقرون‌به‌صرفه بودن و دسترسی به انرژی می‌تواند به رفع کمبود تولید کشاورزی کمک کند (Zakari et al., 2022). بر اساس رویکرد پیوند آب-انرژی-غذا، این سه حوزه به صورت یک سیستم یکپارچه عمل می‌کنند و سیاست‌گذاری غیرهمه‌پایه در هر بخش می‌تواند پیامدهای منفی بر سایر بخش‌ها داشته باشد (Sassi, 2020). بنابراین، ناامنی غذایی و ناامنی انرژی می‌توانند به صورت متقابل یکدیگر را تشدید کرده و ظرفیت اقتصاد برای مقابله با شوک‌ها را کاهش دهند.

۲.۴. اثر تغییرات اقلیمی بر متغیرهای درون‌زای مدل

تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی، چالش‌های جدی بر دسترسی به آب به‌ویژه در مناطق روستایی ایجاد کرد (IPCC¹, 2014). و با افزایش شیوع سیل و خشکسالی، ثبات عرضه و قیمت مواد غذایی را تحت تأثیر قرار داده که برای امنیت غذایی تهدید محسوب می‌شود (Gohar & Cashman, 2016). طی سال‌های اخیر در ایران نیز الگوی بارش در جهت کاهش تغییر یافته، بطوریکه موجب شده تغذیه آب سفره‌های زیرزمینی با نرخ هشداردهنده‌ی حدود ۳/۸ میلی‌متر در سال کاهش یابد (Noori et al., 2023). از طرفی تغییرات اقلیمی ریسک امنیت انرژی را افزایش می‌دهد و اثرات بلندمدت مضر را بر امنیت انرژی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۲ نشان داده است (Alehi et al., 2024). در نتیجه، تغییرات اقلیمی از طریق اثرگذاری همزمان بر امنیت انرژی و امنیت غذایی، ظرفیت سازگاری و پایداری اقتصاد را کاهش داده و تاب‌آوری اقتصادی را تضعیف می‌کند.

۲.۵. پیشینه تحقیق

(Briguglio et al, 2008) با استفاده از چهار زیرشاخص کارایی بازار اقتصاد خرد، ثبات اقتصاد کلان، توسعه اجتماعی و حکمرانی خوب، تاب‌آوری اقتصادی کشورها را ارزیابی کردند. ایران در این

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

مطالعه با رتبه ۶۳ از میان ۸۶ کشور، در وضعیت نامطلوبی قرار گرفت. (Briguglio, 2016) نیز نشان داد کشورهای کوچک و جزیره‌ای، با وجود تولید ناخالص داخلی سرانه بالا، به دلیل باز بودن اقتصاد و تمرکز صادراتی در برابر شوک‌های خارجی آسیب‌پذیرند. (Du et al., 2019) نقش بخش صنعت را در افزایش تاب‌آوری ۴۹ شهر چین تأیید کردند. آنان به این نتیجه دست یافتند که بخش صنعت تأثیر زیادی در افزایش تاب‌آوری اقتصادی دارد. (Liu et al., 2023) اثر مثبت و معنادار سرمایه انسانی را بر تاب‌آوری ۲۳۹ شهر چین نشان دادند. (Zhang & Tian, 2024) اثر عواملی مانند بازارگرایی، ساختار صنعتی، نیروی کار، سرمایه انسانی، نوآوری و مداخله دولت را بر تاب‌آوری منطقه‌ای چین تأیید کردند. (Zhang, 2025) نیز نشان داد توسعه اقتصاد دیجیتال تاب‌آوری اقتصادی را تقویت می‌کند و تأمین مالی سبز در این رابطه نقش واسطه‌ای دارد. در ادامه، مطالعات داخلی درباره تاب‌آوری اقتصادی ایران و عوامل مؤثر بر آن بررسی می‌شوند. شاکری بستان‌آباد و همکاران (۱۴۰۰) با ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی بخش کشاورزی ایران طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴، کاهش این شاخص را گزارش کردند و بی‌ثباتی درآمد و تمرکز صادرات و بازارهای صادراتی را از عوامل مؤثر دانستند. پورباقریان و کاشیان (۱۴۰۱) با استفاده از الگوی ARDL و بررسی دوره ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۹ نشان دادند که صادرات غیرنفتی در بلندمدت تاب‌آوری اقتصادی را افزایش می‌دهد. غفاری‌فرد و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از روش‌های حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح‌شده و پویا، اثر درآمدهای نفتی و ثبات اقتصادی و سیاسی را بررسی کردند. نتایج نشان داد درآمدهای نفتی در بلندمدت اثر مثبت داشته و ثبات سیاسی و اقتصادی، کنترل تورم و کاهش بیکاری از عوامل مؤثر بر تاب‌آوری هستند. پورمتقی‌آلمانی و همکاران (۱۴۰۲) نیز با روش GMM در کشورهای منتخب صادرکننده نفت نشان دادند که بهره‌وری کل عوامل، کیفیت نهادی و تعامل منابع طبیعی و نهادها اثر مثبت، اما فراوانی منابع اثر منفی بر تاب‌آوری اقتصادی دارد. حکم‌آبادی و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از داده‌های پنلی، اثر حکمرانی خوب و کنترل فساد را در کشورهای صادرکننده نفت بررسی کرده و برای هر دو متغیر، اثر مثبت و معنادار بر تاب‌آوری اقتصادی یافتند. همچنین کهریزی و همکاران (۱۴۰۳) با روش DOLS و بررسی کشورهای منطقه منا طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱، نشان دادند که بعد دسترس‌پذیری امنیت انرژی اثر معناداری بر تاب‌آوری ندارد، درحالی‌که قابلیت توسعه و مقبولیت اثر منفی بر تاب‌آوری اقتصادی دارند.

۳. روش تحقیق

جامعه آماری این پژوهش شامل سری‌های زمانی فصلی اقتصاد ایران است. دوره زمانی تحقیق بر اساس دسترسی به داده‌های معتبر، داده‌های فصلی دوره زمانی زمستان ۱۳۷۹ تا پاییز ۱۴۰۲ در نظر گرفته شده است. محدودیت دسترسی به داده‌های منظم برای برخی متغیرهای مورد استفاده، مانع از گسترش دوره زمانی بوده است. متغیرهای مدل شامل تاب‌آوری اقتصادی، امنیت انرژی، امنیت غذایی و تغییرات اقلیمی هستند. جهت سنجش متغیر اقلیم در مدل از شاخص استاندارد شده بارش - تبخیر - تعرق^۱ (SPEI) استفاده شده است.^۲ به دلیل اینکه تغییرات اقلیمی در افق زمانی مطالعه عمدتاً خارج از کنترل اقتصاد ایران بوده و بیشتر تحت تأثیر پدیده‌های اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی شکل می‌گیرد، بنابراین شاخص اقلیمی SPEI در این پژوهش به‌عنوان متغیر برون‌زا در نظر گرفته شده است.

۳.۱. معرفی شاخص‌ها

۳.۱.۱. شاخص تاب‌آوری اقتصادی

برای سنجش تاب‌آوری اقتصادی، شاخص‌های متعددی ارائه شده است. در این پژوهش، شاخص بریگولگیو به دلیل رویکرد جامع و انطباق مفهومی با شرایط بحران‌های محیط‌زیستی و شوک‌های اقلیمی انتخاب شده است. متغیرهای مربوط به هر بُعد در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

^۱ Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

^۲ داده‌های این شاخص از پایگاه اینترنتی مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی به آدرس: <https://ndc.irimo.ir> به صورت فصلی استخراج شده است.

جدول ۱. اجزای شاخص تاب‌آوری اقتصادی

منبع	واحد	متغیرهای تشکیل‌دهنده	زیر شاخص
WDI	درصد	۱. تورم	ثبات اقتصادی
WDI	درصد	۲. بیکاری	
IMF	درصد	۳. نسبت بدهی خارجی به تولید ناخالص داخلی	
IMF	درصد	۴. نسبت کسری مالی به تولید ناخالص داخلی	
شاخص آزادی بنیاد فریزر ^۱	-	۵. شاخص قوانین کسب و کار ^۲	کارایی بازار
شاخص آزادی بنیاد فریزر	-	۶. شاخص قوانین نیروی کار ^۳	
شاخص آزادی بنیاد فریزر	-	۷. شاخص قوانین اعتبار ^۴	
UNDP	-	۸. شاخص توسعه انسانی	توسعه اجتماعی
WDI	-	۹. پاسخ‌گویی دولت	حکمرانی خوب
WDI	-	۱۰. ثبات سیاسی	
WDI	-	۱۱. تأثیرگذاری دولت	
WDI	-	۱۲. نقش قانون	
WDI	-	۱۳. کیفیت قانون و مقررات	
WDI	-	۱۴. کنترل فساد	
WDI	Mt/Capita	۱۵. انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن	مدیریت زیست‌محیطی
WDI	درصد	۱۶. نرخ رشد انتشار دی‌اکسیدکربن	
FAO	درصد	۱۷. دسترسی به آب شرب مطلوب	
FAO	درصد	۱۸. پوشش درخت	
FAO	کیلوگرم بر هکتار	۱۹. عملکرد نسبی غلات	

مأخذ: بریگوگلیو و همکاران ۲۰۱۴

۳.۱.۲. شاخص امنیت انرژی

^۱ Fraser Freedom Index^۲ Business regulation^۳ Labor regulation^۴ Credit regulation

ایران در دوره‌ای حساس از گذار به عصر جدید قرار دارد و با الزامات جهانی توسعه کم‌کربن و مخاطرات ژئوپلیتیکی فزاینده مواجه است. در داخل نیز کاهش منابع فسیلی، محدودیت ظرفیت محیط‌زیست و عدم قطعیت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، ضرورت بازنگری در امنیت انرژی را افزایش داده است. از این‌رو، شاخص پنج‌بعدی امنیت انرژی متناسب با شرایط جدید ایران محاسبه و متغیرهای هر مؤلفه در جدول شماره ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲: اجزای شاخص امنیت انرژی

متغیرها	توضیحات محاسبات متغیرها	واحد	منبع
دردسترس بودن	تولید انرژی اولیه/مصرف انرژی اولیه	-	EIA
	تولید انرژی اولیه/جمعیت	(Kg/person)	EIA / WDI
دسترسی	(مصرف انرژی اولیه - تولید انرژی اولیه) / مصرف انرژی اولیه	-	EIA
مقرون به صرفه بودن	نسبت نوسان قیمت سوخت داخلی	نسبت نوسان شاخص قیمت خرده فروشی داخلی کالاهای سوختی	بانک مرکزی ایران
	سرانه تولید ناخالص داخلی	(\$2021 PPP GDP/Population)	WDI
مقبولیت	مصرف انرژی غیر فسیلی = ۱ - مصرف انرژی فسیلی به کل	درصد	WDI
	سطح شدت انرژی از انرژی اولیه	(MJ/\$2011 PPP GDP)	WDI
	مصرف انرژی تجدیدپذیر	(درصد از کل مصرف نهایی انرژی)	WDI
توسعه‌پذیری	مصرف انرژی اولیه/جمعیت	(Kg/Population)	EIA/ WDI
	انتشار CO2	kg per 2021 PPP \$ of GDP	WDI
	انتشار CO2/مصرف انرژی اولیه	(Kg/Kg)	WDI / EIA

منبع: لو و نگوین (۲۰۱۹)، فانگ (۲۰۱۸)

۳.۱.۳. شاخص امنیت غذایی

یکی از جامع‌ترین و روش‌مندترین شاخص‌هایی که در سال‌های اخیر برای محاسبه امنیت غذایی معرفی شده، شاخص ترکیبی پروتئوس^۱ است. این شاخص سعی دارد نمایی چندبعدی، دقیق و مقاوم از وضعیت امنیت غذایی کشورها ارائه دهد. در ادامه در جدول ۳ متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه شاخص امنیت غذایی پروتئوس ارائه شده است، که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۳: اجزای شاخص امنیت غذایی

زیر شاخص	متغیرهای تشکیل‌دهنده	واحد
در دسترس بودن	میانگین کفایت تأمین انرژی غذایی (%) (میانگین ۳ ساله)	FAO
	میانگین تأمین پروتئین (گرم/سرانه/روز) (میانگین ۳ ساله)	FAO
فیزیکی	جاده‌های آسفالت شده نسبت به کل جاده‌ها (%)	سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای.
	تراکم جاده‌ها (در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع مساحت زمین)	سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای.
	تراکم خطوط ریلی (در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع مساحت زمین)	FAO
دسترسی اقتصادی	تورم مواد غذایی (تورم کل در صورت عدم وجود سالانه/%)	FAO/WB-WDI
	تولید ناخالص داخلی، برابری قدرت خرید (دلار بین‌المللی ثابت ۲۰۱۱)، سرانه	WB-WDI
	حواله‌ها جریان ورودی، برابری قدرت خرید (دلار بین‌المللی ثابت ۲۰۱۱)، سرانه	WB-MR
	شیوع سوء تغذیه، سهم جمعیت	FAO
استفاده	افرادى که حداقل از خدمات بهداشتی اولیه استفاده می‌کنند (درصد جمعیت)	WB-WDI
	افرادى که حداقل از خدمات آب آشامیدنی اولیه استفاده می‌کنند (درصد جمعیت)	WB-WDI
پایداری اقتصادی-اجتماعی-سیاسی	نسبت موجودی به مصرف غلات	INDEXMUNDI
	تراز حساب جاری (BoP، دلار آمریکا فعلی)، سهم تولید ناخالص داخلی	WB-WDI
	نرخ ارز مؤثر واقعی	WB
	ارزش واردات مواد غذایی نسبت به کل صادرات کالا	FAO
	ثبات سیاسی و عدم خشونت/تروریسم (شاخص)	FAO
	مرگ و میر (خشونت دو طرفه، یک طرفه، غیردولتی)،	UCDP

¹ Proteus Composite Index

جدول ۳: اجزای شاخص امنیت غذایی

سهم از کل جمعیت		
افراد نگران کننده (آوارگان داخلی و پناهندگان)، سهم از کل جمعیت	کمیساریای عالی پناهندگان سازمان ملل متحد	
افراد نگران کننده میزبان (آوارگان داخلی و پناهندگان)، سهم از کل جمعیت	کمیساریای عالی پناهندگان سازمان ملل متحد UNHCR	
افراد آسیب دیده از بلایا (وزن ده ساله)، سهم از کل جمعیت	EM-DAT	مخاطرات طبیعی
خسارات ناشی از بلایا به دلار آمریکا (وزن ده ساله)، سهم از تولید ناخالص داخلی	EM-DAT	

منبع: کاکاواله و جیوفریدا، ۲۰۲۰

۳.۲. محاسبه شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی، امنیت انرژی و امنیت غذایی

پس از جمع‌آوری داده‌ها، به دلیل اینکه متغیرها از نظر واحد اندازه‌گیری با یکدیگر متفاوت بودند، نرمال‌سازی صورت گرفت. در این مطالعه از روش نرمال‌سازی حداقل-حداکثر استفاده شد. بر این اساس برای استانداردسازی داده‌های مولفه‌ها باید از دو رابطه مجزا استفاده کرد. بدین جهت مولفه‌های شاخص‌ها به دو گروه متغیرهای مثبت و منفی تقسیم‌بندی شدند. برای متغیرهایی که رابطه مثبت با شاخص مورد نظر دارند، از رابطه (۱) جهت استانداردسازی استفاده شد و برای متغیرهایی که رابطه منفی با شاخص مربوطه دارند از رابطه (۲) استفاده شد (Napoli & Mazziotta, 2011).

$$x = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} * 100 \quad (1)$$

$$x = \frac{\max(x) - x}{\max(x) - \min(x)} * 100 \quad (2)$$

مرحله بعدی در محاسبه یک شاخص ترکیبی تجمیع است و شامل «ارزش‌گذاری نسبی بر روی آیتم‌هایی است که در شاخص وارد می‌شوند» (Stiglitz et al., 2009) و در نتیجه، امتیاز و رتبه امنیت غذایی کشور را به دست می‌دهد. در تجمیع روش‌های متعددی با رویکردهای جبرانی یا غیرجبرانی قابل اعمال هستند که بیشتر آن‌ها بر اساس این است که عملکرد کشور تا چه حد باید بین متغیرهای مختلف متعادل باشد. (Casadio Tarabusi and Guarini, 2013) یک تابع تجمیع «میانگین-حداقل» پیشنهاد می‌کنند که با رویکردهای جبرانی و غیرجبرانی سازگار است، زیرا می‌تواند به هر دو شکل میانگین حسابی (وزن‌دار) و تابع حداقل باشد. در این تابع، مقدار شاخص

ترکیبی بین میانگین و کمترین مقدار نرمال شده شاخص‌ها درون یک زیرستون قرار می‌گیرد. حالت حداقل، حداکثر جریمه را برای عدم تعادل بین شاخص‌ها اعمال می‌کند، در حالی که حالت میانگین، نشان دهنده‌ی جبران‌پذیری کامل است. این تابع امتیازهای متفاوتی را بر اساس ضریب جریمه α و ضریب مکملیت β باز می‌گرداند:

$$y_{c,t}^S = \mu_{c,t}^S - \alpha \left(\sqrt{\left(\mu_{c,t}^S - \min_{v \in S} (n_{c,t,v}) \right)^2 + \beta^2} - \beta \right) \quad (3)$$

در رابطه شماره ۳، y نشان‌دهنده امتیاز تجمیع شده در سطح زیرستون است، $S \subset \{1, \dots, V\}$ زیرمجموعه‌ای از متغیرهای متعلق به یک زیرستون را نشان می‌دهد، μ و $\min(n)$ به ترتیب نشان‌دهنده میانگین وزنی و کمترین مقدار شاخص‌های نرمال شده درون آن زیرستون هستند. رابطه مشابهی برای تجمیع بیشتر امتیازهای زیرستون‌ها به ستون‌ها و در نهایت به شاخص تکرار می‌شود. با $\alpha = 0$ ، تابع میانگین-حداقل به میانگین کاهش می‌یابد، در حالی که با $\alpha = 1$ و $\beta = 0$ به تابع حداقل تبدیل می‌شود. تمام حالت‌های دیگر در بین این دو قرار دارند و دو پارامتر به صورت زیر تغییر می‌کنند: $0 \leq \alpha \leq 1$ و $\beta \geq 0$. حالت‌های حدی ضریب جریمه α به ترتیب نشان‌دهنده جبران‌پذیری کامل ($\alpha = 0$) و ناقص ($\alpha = 1$) هستند، در حالی که سایر مقادیر امکان جبران‌پذیری تناسبی را فراهم می‌کنند (Casadio Tarabusi and Guarini, 2013). در مقایسه با روش‌های جایگزین مانند تابع مازیوتا-پارتو (Mazziotta & Pareto, 2016, 2017) یا میانگین مقعر، تابع میانگین-حداقل ویژگی‌های بیشتری را که یک تابع تجمیع باید دارا باشد، برآورده می‌کند (Casadio Tarabusi and Guarini, 2013) و برای مسئله پژوهش حاضر که در آن تعادل بین مؤلفه‌ها اهمیت دارد، مناسب‌تر است و در حالت میانی خود ($\alpha = 0.5$ و $\beta = 0.5$) برای محاسبه شاخص‌های این تحقیق اتخاذ شده است.

۳.۳. تبدیل شاخص‌های سالانه به فصلی (تجزیه زمانی)

به دلیل محدودیت زمانی داده‌های تحقیق، شاخص‌های تاب‌آوری، انرژی و غذایی تنها برای سال‌های ۲۳ سال محاسبه شد. بنابراین به منظور افزایش تعداد مشاهدات، داده‌های سالانه شاخص‌های محاسبه شده در این تحقیق به داده‌های فصلی تبدیل گردید. برای این تبدیل از روش تجزیه زمانی^۱

¹ Temporal Disaggregation

استفاده شد. در این پژوهش، روش دنتون-چولت^۱ به عنوان روش اصلی انتخاب گردید. این روش، نسخه بهبود یافته روش دنتون تناسبی^۲ است که بر اساس اصل حفظ حرکت عمل می‌کند و نوسانات سری نشانگر را به صورت طبیعی به سری فصلی منتقل می‌نماید (Sax & Steiner, 2013). مطالعات تجربی نشان داده‌اند که نسخه‌های تناسبی دنتون عملکرد بهتری در تجزیه زمانی داده‌های اقتصادی در میان ۵ روش‌های ریاضی و ۵ روش آماری داشته است (Chen, 2007).

در این چارچوب، انتخاب سری نشانگر از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش، برای تجزیه زمانی شاخص امنیت غذایی پروتئوس از نشانگر «شاخص قیمت مواد غذایی» به دلایل زیر استفاده شد. شاخص قیمت مواد غذایی به دلیل ارتباط مستقیم با بعد دسترسی و بعد پایداری غذایی به دلیل وابسته بودن به تغییرات نرخ ارز، قدرت بازنمایی تغییرات فصلی امنیت غذایی دارد. این شاخص به طور مستقیم قدرت خرید خانوارها و میزان دسترسی آن‌ها به مواد غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این شاخص قیمت مواد غذایی دارای داده‌های فصلی منظم، پیوسته است. در تجزیه زمانی شاخص امنیت انرژی پنج‌بعدی از نشانگر «قیمت نفت سبک ایران» به دلایل زیر استفاده شد. نفت و درآمدهای حاصل از آن نقش محوری در تأمین منابع مالی بخش انرژی کشور دارند، نوسانات قیمت نفت می‌تواند تغییرات کوتاه‌مدت امنیت انرژی را به خوبی منعکس کند. علاوه بر این، قیمت نفت سبک ایران دارای داده‌های فصلی منظم و پیوسته بوده و به سرعت نسبت به شوک‌های بازار جهانی انرژی و تحولات ژئوپلیتیکی واکنش نشان می‌دهد. جهت تجزیه زمانی شاخص تاب‌آوری اقتصادی مبتنی بر شاخص بریگوگلیو از نشانگر «تولید ناخالص داخلی» استفاده گردید. زیر شاخص های تاب‌آوری اقتصادی بریگوگلیو همگی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با عملکرد و پویایی‌های تولید ناخالص داخلی ارتباط دارند. این شاخص در ادبیات تاب‌آوری اقتصادی به عنوان یکی از مهم‌ترین نشانه‌های تاب‌آوری اقتصادی شناخته می‌شود (Briguglio et al, 2009). در ادبیات تاب‌آوری اقتصادی نیز تأکید شده است که اقتصادهای دارای سطح بالاتر تاب‌آوری، توان بیشتری در حفظ یا بازبایی رشد تولید ناخالص داخلی پس از وقوع شوک‌های اقتصادی دارند (Ndou, 2025). علاوه بر این شاخص دارای داده‌های فصلی منظم و پیوسته بوده.

¹ Denton-Cholette

² Denton Proportional

۳.۳. روش برآورد مدل تحقیق

در این پژوهش از مدل خودرگرسیون برداری با متغیر برون زا (VARX) که زیر مجموعه‌ای از مدل‌های خودرگرسیون برداری (VAR) می باشد، استفاده شده است. تفاوت مدل VARX با مدل VAR در این است که مدل VARX قادر به تفکیک متغیرهای درون‌زا و برون‌زا است. مدل VARX می‌تواند رابطه پویای متغیرهای مدل را توضیح دهد. همچنین می‌تواند تأثیر یک متغیر یا مجموعه‌ای از متغیرها را بر سایر متغیرها از طریق توابع واکنش به ضربه بررسی نماید (Warsono et al., 2019). بر این اساس یک مدل عمومی VAR (p) به شرح زیر است:

$$\Gamma_t = \Phi_1 \Gamma_{t-1} + \Phi_2 \Gamma_{t-2} + \dots + \Phi_p \Gamma_{t-p} + E_t \quad (۴)$$

$$(I - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p) \Gamma_t = E_t \quad \text{یا} \quad (۵)$$

در این جا $B^j \Gamma_t = \Gamma_{t-j}$ و $\Phi_s = [\Phi_{lm}^{(s)}]$ ، $j=1,2,\dots,p$ یک ماتریس $k \times k$ و $s=1,2,\dots,p$ است.

$$\xi_1 = \begin{bmatrix} \Gamma_t - \mu \\ \Gamma_t - \mu \\ \vdots \\ \Gamma_{t-p+1} - \mu \end{bmatrix}_{np \times 1} \quad F = \begin{bmatrix} \Phi_1 & \Phi_1 & \dots & \Phi_{p-1} & \Phi_p \\ I_n & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & I_n & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & I_n & 0 \end{bmatrix}_{np \times np} \quad v_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_t \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (۶)$$

بنابراین VAR (p) می‌تواند به عنوان VAR (1) بازنویسی شود:

$$\xi_t = F \xi_{t-1} + v_t \quad (۷)$$

مقدار ویژه ماتریس F شرط زیر را برآورده می‌سازد:

$$|I_n \lambda - \Phi_1 \lambda^{p-1} - \Phi_2 \lambda^{p-2} - \dots - \Phi_p| = 0 \quad (۸)$$

رابطه بالا تا زمانی که $|\lambda|$ برای تمام مقادیر λ کوچکتر از یک باشد، کواریانس پایا است. در غیر

اینصورت اگر تمام مقادیر Z به صورت زیر برآورده شود، VAR کواریانس پایا خواهد بود.

$$|I_n - \Phi_1 z - \Phi_2 z^2 - \dots - \Phi_p z^p| = 0 \quad (۹)$$

ریشه‌ها در خارج از دایره واحد قرار دارند.

ماتریس همبستگی برای فرآیند برداری به صورت زیر است :

$$\rho(m) = D^{-1/2} \sum (m) D^{-1/2} = [\rho_{ij}(m)]$$

$$D = [\text{diag}[\gamma_{11}(0), \gamma_{22}(0), \dots, \gamma_{mm}(0)]] , I = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, m,$$

$$\rho_{ij}(m) = \frac{\gamma_{ij}(m)}{[\gamma_{ii}(0) \gamma_{jj}(0)]^{1/2}} \quad \text{و} \quad (10)$$

رابطه بالا همبستگی تقاطعی بین X_{it} و X_{ij} را نشان می دهد.

مدل VAR می تواند تحت تأثیر متغیرهای برونزا قرار بگیرد که می توانند تصادفی یا غیر تصادفی باشند. همچنین مدل VAR می تواند تحت تأثیر وقفه های متغیرهای برونزا قرار گیرد. مدل VARX (p,q) توسط معادله زیر نشان داده می شود:

$$\Gamma_t = c + \sum_{i=1}^p \Phi_i \Gamma_{t-i} + \sum_{j=0}^q \varphi_j \psi_{t-j} + \varepsilon_t \quad (11)$$

زمانیکه $p=3$ ، $q=0$ ، $\Gamma_t = \begin{pmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \end{pmatrix}$ ، $\psi_t = y_t$ ، $\Phi_i = \begin{bmatrix} \Phi_{11}^i & \Phi_{12}^i \\ \Phi_{21}^i & \Phi_{22}^i \end{bmatrix}$ ، $\varphi_j = \varphi_j$ ، $i=1,2,3$ ، $c = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$ و $\begin{pmatrix} \varphi_{11} \\ \varphi_{21} \end{pmatrix}$ به شکل زیر در می آید.

$$\begin{pmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi_{11}^1 & \Phi_{12}^1 \\ \Phi_{21}^1 & \Phi_{22}^1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{1t-1} \\ x_{2t-1} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi_{11}^2 & \Phi_{12}^2 \\ \Phi_{21}^2 & \Phi_{22}^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{1t-2} \\ x_{2t-2} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi_{11}^3 & \Phi_{12}^3 \\ \Phi_{21}^3 & \Phi_{22}^3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{1t-3} \\ x_{2t-3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi_{11} \\ \varphi_{21} \end{pmatrix} y_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

۳. یافته های پژوهش

۴.۱. آمار توصیفی متغیرها

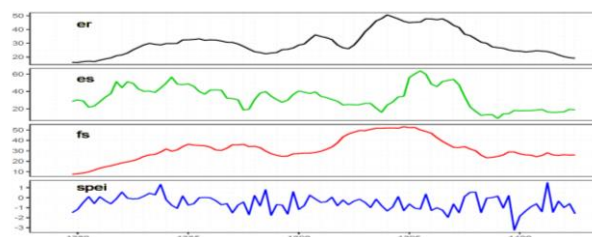
جدول ۴ آمار توصیفی متغیرهای پژوهش را ارائه می دهد. میانگین و میانه نزدیک به هم در متغیرهای ER، ES و FS نشان دهنده توزیع نسبتاً متعادل داده ها است. در مقایسه حداکثر و حداقل سه متغیر فوق، امنیت انرژی بیشترین تغییرپذیری را نشان می دهد. در خصوص شاخص SPEI میزان میانگین و میانه نشان می دهد که شرایط اقلیمی به طور متوسط اندکی متمایل به خشکی بوده است.

جدول ۴: آمار توصیفی متغیرها

متغیرها	میانگین	انحراف معیار	میانه	حداکثر	حداقل
ER	۳۰/۴۳۷	۹/۰۶۲	۲۹/۰۳۲	۵۰/۵۹۰	۱۶/۰۸۰
ES	۲۳/۸۲۷	۱۳/۱۸۰	۳۱/۹۵۵	۶۳/۷۹۰	۸/۸۳۷
FS	۳۱/۵۳۵	۱۱/۱۳۰	۲۹/۷۷۲	۵۳/۱۰۵	۷/۵۷۹
SPEI	-۰/۵۳۹	۰/۷۶۳	-۰/۵۹۵	۱/۵۱۰	-۳/۲۴

منبع: یافته های تحقیق.

نمودار (۱) روند سری زمانی متغیرها را نمایش داده است. هر سه شاخص ER، ES و FS تا میانه دهه ۱۳۹۰ روندی افزایشی داشته‌اند و پس از آن وارد فاز نزولی شده‌اند. شاخص SPEI که نماینده شرایط خشکسالی و ترسالی است، عمدتاً حول مقادیر منفی نوسان می‌کند؛ این امر بیانگر غلبه شرایط خشکسالی در بخش عمده دوره مورد مطالعه است. در برخی سال‌ها، به‌ویژه اواخر ۱۳۹۹، افت شدید SPEI مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده خشکسالی شدید است.



نمودار ۱: سری زمانی متغیرهای پژوهش (منبع: یافته‌های تحقیق)

۴.۲. آزمون مانایی

مدل VARX به پایایی متغیرها وابسته است. نتایج آزمون پایایی متغیرها در جدول ۵ ارائه شده است. آزمون‌های سنتی ریشه واحد مانند دیکی- فولر تعمیم‌یافته^۱ (ADF) و کویاتکوفسکی- فیلیپس- اشمیت- شین^۲ (KPSS) نسبت به شکست‌های ساختاری حساس بوده و ممکن است متغیرهای مانا را به اشتباه نامانا تشخیص دهند. از آنجا که اقتصاد ایران طی دوره مورد بررسی با شوک‌های ساختاری متعدد مواجه بوده است، آزمون زایوت- اندروز^۳ (ZA) که شکست ساختاری درون‌زا را لحاظ می‌کند، مبنای اصلی قضاوت قرار می‌گیرد (Zivot-Andrews, 1992). بنابراین، تمام متغیرها در سطح مانا هستند و مدل خودرگرسیون برداری با متغیر برون‌زا (VARX) قابل تخمین بوده و نتایج آن معتبر است.

¹ Augmented Dickey- Fuller

² Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin

³ Zivot-Andrews

جدول ۵: نتایج آزمون ریشه واحد متغیرهای مدل

متغیرها	ADF		KPSS		ZA
	عرض از مبدأ	عرض از مبدأ و روند	عرض از مبدأ	عرض از مبدأ و روند	شکست در عرض مبدأ و روند
ER	-۱/۸۰۱	-۱/۹۸۶۴	۰/۵۵۱۲*	۰/۳۰۸۹	-۵/۳۸۶**
ES	-۲/۵۴۰۱	-۲/۸۹۷۸**	۰/۵۶۲۴*	۰/۱۱۱۶*	-۵/۵۹۱۹*
FS	-۲/۰۵۴۶	-۱/۸۹۳۴	۰/۶۶۷۶*	۰/۳۷۲۴	-۴/۹۶۰۲***
SPEI	-۴/۷۸۱۴*	-۵/۴۵۰۹*	۰/۵۲۷۹*	۰/۰۳۸۴*	-
توضیحات: * معنی‌داری در سطح ۱٪، ** معنی‌داری در سطح ۵٪، *** معنی‌داری در سطح ۱۰٪.					

منبع: یافته‌های تحقیق.

۴.۳. تعیین وقفه بهینه

در این بخش برای تعیین وقفه بهینه مدل VARX از سه معیار آکائیک^۱ (AIC) و شوارتز-بیزین^۲ (SBC) و هنان-کوئین^۳ (HQ) استفاده شد. نتایج حاصل از معیارهای نامبرده برای تعیین تعداد وقفه بهینه در جدول ۶ ارائه شده است. براساس نتایج، با در نظر حداکثر ۸ وقفه برای متغیرها جهت وقفه بهینه‌ی مدل، با توجه به اینکه معیارهای SBC و HQ به دلیل جریمه بیشتر برای پیچیدگی مدل، در نمونه‌های کوچک عملکرد قابل اتکاتری نسبت به AIC دارند (Lütkepohl, 2005)، بنابراین وقفه بهینه دو (p=2) برای متغیرهای درون‌زا و وقفه بهینه صفر (m=0) برای متغیر برونزا در مدل انتخاب شد.

جدول ۶: تعیین تعداد وقفه بهینه

	MAXp=۸	MAXm=۸
AIC	۵	۰
BIC	۲	۰
HQ	۲	۰

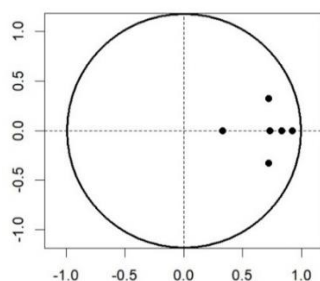
منبع: یافته‌های تحقیق.

۴.۴. آزمون‌های پس از تخمین مدل

^۱ Akaike Information Criterion^۲ Schwarz Bayesian Criterion^۳ Hannan-Quinn Information Criterion

۴.۴.۱. آزمون ثبات مدل

یکی از پیش شرط‌های لازم برای تفسیر معتبر توابع واکنش ضربه‌ای و پیش‌بینی‌ها در مدل‌های VARX، پایداری مدل است. برای بررسی این موضوع، مقادیر ویژه^۱ محاسبه شدند. نتایج نشان داد که تمامی مقادیر ویژه کمتر از یک^۲ دارند و بزرگترین مقدار ویژه برابر با ۰/۹۲۴ است. از آنجا که هیچ کدام از مقادیر ویژه خارج از دایره واحد قرار ندارند، فرض پایداری مدل تأیید می‌شود و در ادامه نمودار ۲ آزمون ثبات مدل را نمایش داده است. بنابراین، نتایج حاصل از مدل VARX از نظر آماری معتبر و قابل اتکا هستند.



نمودار ۲: آزمون ثبات مدل (منبع: یافته‌های تحقیق)

۴.۴.۲. خود همبستگی

یکی از مهم‌ترین فرض‌ها، عدم وجود خودهمبستگی در باقیمانده‌های مدل است. بدین منظور از آزمون آماره لیونگ-باکس^۳ (Q) در وقفه‌های مختلف استفاده شد. بر اساس نتایج جدول ۷، از آنجایی که در تمام وقفه‌ها مقدار احتمال در سطح اطمینان ۹۵ درصد بزرگتر از ۰/۰۵ است، فرض صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی در باقیمانده‌ها رد نمی‌شود.

جدول ۷: نتایج آزمون خودهمبستگی

وقفه	آماره آزمون (Q)	درجه آزادی (DF)	احتمال (P)
۱	۱/۱۳	۹	۰/۸۹
۲	۷/۸۷	۱۸	۰/۷۸
۳	۲۱/۳۵	۲۷	۰/۲۴
۴	۵۳/۰۱	۳۶	۰/۲۵

^۱ Eigenvalues

^۲ 0.9246142 0.8305392 0.7897071 0.7897071 0.7336714 0.3275441

^۳ Ljung-Box Q test

جدول ۷: نتایج آزمون خودهمبستگی

۵	۶۰/۷۰	۴۵	۰/۲۱
۶	۶۵/۴۲	۵۴	۰/۳۷
۷	۶۶/۹۶	۶۳	۰/۴۲
۸	۸۹/۴۴	۷۲	۰/۲۷

منبع: یافته‌های تحقیق.

۴.۴.۲. ناهمسانی واریانس شرطی

به‌منظور بررسی وجود ناهمسانی واریانس شرطی و اثرات آرچ در باقیمانده‌های مدل، از آزمون مارچ^۱ در وقفه ۸ استفاده شد. این آزمون فرض صفر مبنی بر همسانی واریانس شرطی را در برابر فرض مخالف وجود نوسانات خوشه‌ای^۲ آزمون می‌کند. نتایج نشان داد که مقادیر احتمال در تمامی آزمون‌ها بزرگ‌تر از سطح معناداری ۰/۰۵ هستند و فرض صفر رد نمی‌شود. بنابراین باقیمانده‌های مدل فاقد ناهمسانی واریانس شرطی هستند.

جدول ۸: نتایج آزمون ناهمسانی واریانس

نوع آزمون	آماره آزمون	احتمال
آزمون Q مربعات (LM Test)	۴/۷۱۴	۰/۷۸۷
آزمون مبتنی بر رتبه (Rank-based Test)	۳/۴۶۲	۰/۹۰۲
آزمون Q_k مربعات	آزمون اولیه	۴۱/۰۷۷
	آزمون مقاوم	۶۵/۶۵۰
		۰/۶۸۷

منبع: یافته‌های تحقیق.

۴.۵. آزمون علیت گرنجری بلوکی

آزمونی که به عنوان ابزار مکمل برای شناخت دقیق کانال‌های ارتباطی میان متغیرهای درون‌زای VARX بکار می‌رود، آزمون علیت گرنجری بلوکی است. در این آزمون با در نظر گرفتن متغیر برون‌زا، بررسی می‌شود که آیا وقفه‌های یک متغیر درون‌زا، می‌تواند موجب افزایش دقت پیش بینی مقادیر آینده سایر متغیرها شود یا خیر (Enders, 2004). بر اساس نتایج جدول ۹، رابطه علیت گرنجری از سوی تاب‌آوری اقتصادی به امنیت انرژی و امنیت غذایی تأیید نشد. همچنین،

¹ March Test² Heteroscedasticity

امنیت انرژی نیز اثر علی معناداری بر سایر متغیرهای مدل نداشت. در مقابل، مقدار احتمال آزمون علیت گرنجری امنیت غذایی برابر با ۰/۰۰۱۷ به دست آمد که بیانگر رابطه علی گرنجری معنادار در سطح ۱ درصد است. بنابراین، وقفه‌های امنیت غذایی نقش مهمی در پیش‌بینی تغییرات تاب‌آوری اقتصادی و امنیت انرژی ایفا می‌کند.

جدول ۹: نتایج آزمون علیت گرنجر بلوکی

متغیر مستقل	متغیر وابسته	آماره F-Test	سطح احتمال
ER	ES, FS	۰/۷۷۱۹	۰/۵۴۴۴
ES	ER, FS	۱/۰۹۶۷	۰/۳۵۸۸
FS	ER, ES	۴/۴۵۵۲	۰/۰۰۱۷

منبع: یافته‌های تحقیق.

در ادامه، نتایج آزمون علیت آنی^۱ در جدول ۱۰ گزارش شده است. در آزمون علیت آنی صرفاً وجود یک رابطه همزمان بررسی می‌شود. بر اساس نتایج، تنها مقدار احتمال آزمون علیت آنی میان امنیت انرژی و سایر متغیرها کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ است. بنابراین، فرض صفر مبنی بر نبود علیت آنی رد می‌شود. این یافته دلالت بر آن دارد که شوک امنیت انرژی اثر آنی بر سایر بخش‌ها دارد و پسماند این متغیر همبستگی با سایر متغیرهای درون‌زای مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: نتایج آزمون علیت آنی

متغیر مستقل	متغیر وابسته	آماره F-Test	سطح احتمال
ER	ES, FS	۴/۲۲۲۶	۰/۱۲۱
ES	ER, FS	۶/۲۲۳۵	۰/۰۴۴۵
FS	ER, ES	۲/۴۳۳۲	۰/۲۹۶۲

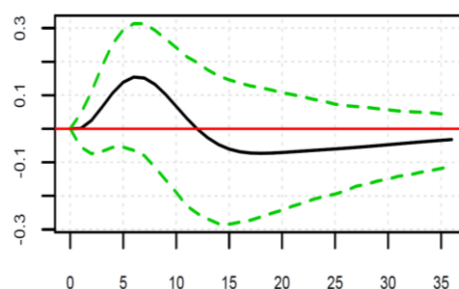
منبع: یافته‌های تحقیق.

۴.۶. توابع واکنش به ضربه

نمودار (۳) تابع واکنش آنی متغیر تاب‌آوری در برابر یک شوک وارد شده به امنیت انرژی را در افق‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در ابتدای دوره (دوره صفر و ۱)، واکنش متغیر تاب‌آوری نزدیک به صفر است که نشان می‌دهد واکنش اولیه سیستم بسیار محدود است. از دوره ۲ نمودار واکنش

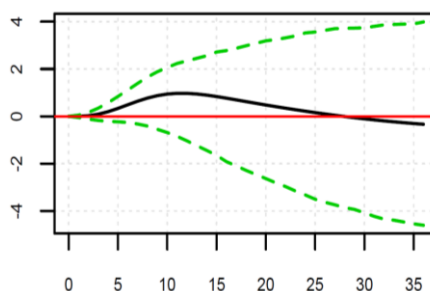
¹ Instantaneous Causality

متغیر تاب‌آوری روندی افزایشی و مثبت پیدا می‌کند و در دوره ۶ به حداکثر مقدار خود یعنی ۰/۱۵۴۰۵۰۱ می‌رسد. پس از نقطه اوج، منحنی نزولی و نیمه عمر چهار دوره پس از پیک (این نقطه در مجموع حدود ۱۰ دوره پس از شوک اولیه است) رخ می‌دهد. در ادامه در دوره ۱۲ به صفر می‌رسد و سپس وارد ناحیه منفی می‌گردد، هر چند شدت اثر منفی محدود است و سیستم تمایل دارد به حالت تعادلی نزدیک شود. این الگو نشان می‌دهد که بهبود امنیت انرژی، ظرفیت تاب‌آوری نظام را به سرعت افزایش می‌دهد، اما این اثر پایدار نیست.



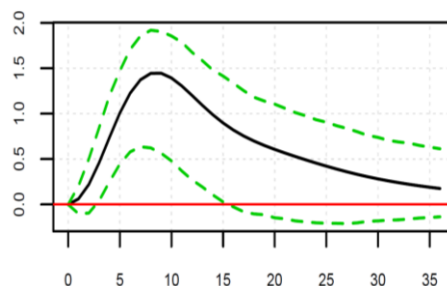
نمودار ۳: واکنش تاب‌آوری اقتصادی به تکانه امنیت انرژی (منبع: یافته‌های تحقیق)

نمودار (۴) واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی به تکانه امنیت انرژی را نشان می‌دهد که در ابتدای دوره با گذشت زمان، واکنش تجمعی افزایش یافته و به مقادیر مثبت می‌رسد اما در دوره‌های پایانی، این واکنش کاهش یافته و منفی شده است. با توجه به دو نمودار ۲ و ۳ می‌توان گفت بهبود اولیه احتمالاً ناشی از کاهش هزینه‌های تولید، افزایش اشتغال و بهبود فعالیت‌های اقتصادی است. با این حال، افزایش درآمدهای انرژی می‌تواند با افزایش هزینه‌های جاری و یارانه‌ها، بروز علائم بیماری هلندی را به دنبال داشته باشد. همچنین، دسترسی به انرژی ارزان ممکن است انگیزه بهبود بهره‌وری، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و تنوع‌بخشی به سبد انرژی را کاهش دهد و در نهایت، تاب‌آوری اقتصادی را پس از بهبود اولیه تضعیف کند.



نمودار ۴: واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی به تکانه امنیت انرژی (منبع: یافته‌های تحقیق)

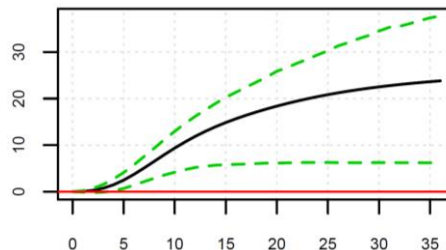
نمودار (۵) تابع واکنش آنی متغیر تاب‌آوری را در برابر شوک مثبت در امنیت غذایی نشان می‌دهد. براساس نتایج، از ابتدای دوره اثر شوک امنیت غذایی بر تاب‌آوری سریعاً مثبت شده و به شدت افزایش می‌یابد و در دوره ۹ به حداکثر مقدار خود به میزان $1/445409$ می‌رسد. پس از پیک، اثر مثبت به تدریج کاهش می‌یابد اما همچنان مثبت باقی می‌ماند. به مرور زمان جذب شده و سیستم به وضعیت تعادلی جدید نزدیک می‌شود. ۹ دوره پس از پیک، نیمه عمر اثر شوک است. با توجه به اینکه این نقطه در مجموع حدود ۱۸ دوره پس از شوک اولیه رخ می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که اثر شوک امنیت غذایی از ماندگاری زمانی برخوردار است.



نمودار ۵: واکنش تاب‌آوری اقتصادی به تکانه امنیت غذایی (منبع: یافته‌های تحقیق)

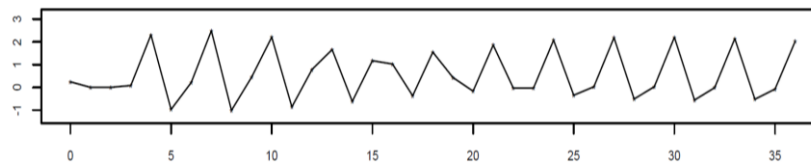
نمودار (۶) نشان می‌دهد که پس از شوک امنیت غذایی، واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی به تدریج افزایش یافته و وارد ناحیه مثبت می‌شود که بیانگر اثر مثبت و ماندگار این شوک است. بهبود امنیت غذایی با افزایش دسترسی پایدار خانوارها به مواد غذایی، کاهش نااطمینانی معیشتی و تقویت سرمایه انسانی، ظرفیت خانوارها و بنگاه‌ها را برای مدیریت شوک‌های اقتصادی و تداوم فعالیت‌های تولیدی افزایش می‌دهد. همچنین، کاهش فشارهای اجتماعی، افزایش بهره‌وری نیروی کار و تقویت ثبات درآمدی، زمینه سازگاری بهتر اقتصاد با بحران‌ها را فراهم می‌کند. بنابراین، اثر

تجمعی مشاهده شده نشان می‌دهد که بهبود امنیت غذایی، علاوه بر آثار کوتاه مدت، در میان مدت نیز به تقویت بنیان‌های تاب‌آوری اقتصادی کمک می‌کند.



نمودار ۶: واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی به تکانه امنیت غذایی (منبع: یافته‌های تحقیق)

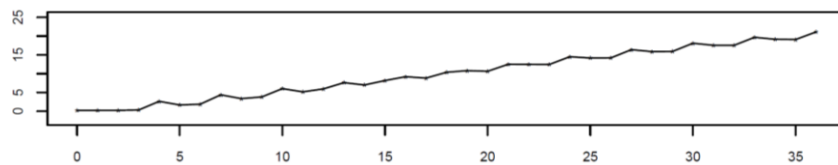
نمودار (۷) واکنش متغیر تاب‌آوری اقتصادی به شوک مثبت در شاخص SPEI را نشان می‌دهد^۱ که در ابتدای دوره منحنی نزدیک به صفر است. در ادامه از دوره ۴ این متغیر وارد یک مسیر نوسانی می‌شود. دامنه این نوسانات نسبتاً محدود و تقریباً ثابت باقی می‌ماند که نشان می‌دهد اگرچه شوک اقلیمی موجب ایجاد نوسان در تاب‌آوری اقتصادی می‌شود، اما این نوسانات از کنترل خارج نشده و به صورت یک چرخه پایدار ادامه می‌یابد. به بیان دیگر، تاب‌آوری اقتصادی پس از شوک در یک الگوی نوسانی و ماندگار باقی می‌ماند.



نمودار ۷: واکنش تاب‌آوری اقتصادی به تکانه SPEI (منبع: یافته‌های تحقیق)

نمودار (۸) نشان می‌دهد که واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی به تکانه شاخص SPEI (شوک اقلیمی) در ابتدای دوره اندک بوده اما به تدریج انباشته و تقویت می‌شود، به گونه‌ای که در دوره‌های بعدی تأثیر قابل توجهی بر افزایش تاب‌آوری اقتصادی دارد.

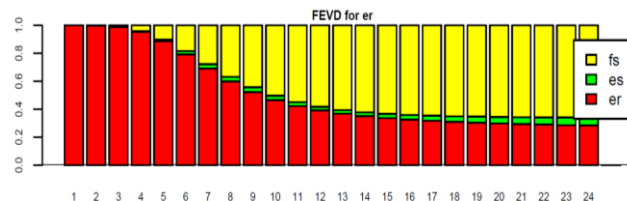
۱. تابع واکنش به ضربه مربوط به شوک متغیرهای درون‌زا با استفاده از پکیج VARS ترسیم شد؛ اما به دلیل اینکه ترسیم تابع واکنش مربوط به شوک متغیر برون‌زا تنها در پکیج MTS امکان پذیر است، این بخش با استفاده از همان پکیج ارائه شد. با این حال، این پکیج قابلیت رسم حدود اطمینان را ندارد.



نمودار ۸: واکنش تجمعی تاب‌آوری اقتصادی به تکانه SPEI (منبع: یافته‌های تحقیق)

۴.۷. تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی

نمودار (۹) نتایج تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی^۱ برای متغیر تاب‌آوری اقتصادی را در افق‌های زمانی مختلف نمایش داده است.^۲ در این نمودار، سهم امنیت غذایی، امنیت انرژی و خود تاب‌آوری اقتصادی در توضیح نوسانات پیش‌بینی نشده تاب‌آوری اقتصادی نشان داده شده است. در دوره‌های ابتدایی (۱ تا حدود ۳)، تقریباً تمام تغییرات این متغیر ناشی از شوک‌های خود آن است که بیانگر نقش غالب پویایی‌های درونی در کوتاه‌مدت است. با افزایش افق زمانی و از حدود دوره ۴، سهم شوک‌های سایر متغیرها افزایش می‌یابد. در این میان، سهم امنیت غذایی رشد قابل توجهی دارد، در حالی که سهم امنیت انرژی افزایش محدودتری نشان می‌دهد. هم‌زمان، سهم شوک‌های خود تاب‌آوری اقتصادی کاهش می‌یابد که بیانگر افزایش تدریجی نقش عوامل بیرونی در توضیح نوسانات آن است.



نمودار ۹: تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی تاب‌آوری اقتصادی (منبع: یافته‌های تحقیق)

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر با هدف بررسی پویایی‌های متقابل میان تاب‌آوری اقتصادی، امنیت انرژی و امنیت غذایی با در نظر گرفتن شوک‌های اقلیمی در قالب مدل VARX انجام شد. نتایج آزمون‌های مقدماتی

^۱ Forecast Error Variance Decomposition

^۲ در مدل VARX، متغیر SPEI به‌عنوان یک متغیر برون‌زا وارد مدل شده است؛ بنابراین برای آن شوک تصادفی مستقل در ساختار مدل تعریف نمی‌شود. در نتیجه، در تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی سهم مستقلی برای این متغیر محاسبه نشده و کل واریانس میان شوک‌های متغیرهای درون‌زا توزیع می‌شود.

نشان داد که متغیرهای پژوهش از نظر آماری پایا هستند. همچنین انتخاب وقفه بهینه دو برای متغیرهای درون‌زا و وقفه صفر برای متغیر برون‌زا مناسب است. آزمون‌های تشخیصی نیز بیانگر پایداری مدل، نبود خودهمبستگی ساختاری در باقیمانده‌ها و عدم وجود ناهمسانی واریانس شرطی بودند؛ بنابراین مدل از اعتبار اقتصادسنجی لازم برخوردار است. نتایج توابع واکنش آنی نشان داد که واکنش مثبت تاب‌آوری اقتصادی نسبت به شوک‌های امنیت انرژی محدود است و در دوره‌های بعدی اثر منفی مشاهده می‌شود، هر چند شدت اثر منفی محدود است و سیستم تمایل دارد به حالت تعادلی نزدیک شود. در نمودار واکنش تجمعی، بهبود امنیت انرژی به شکل موقتی تاب‌آوری اقتصادی را تقویت می‌کند، اما این اثر با گذشت زمان منفی می‌گردد. این الگو نشان‌دهنده این است که بهبود امنیت انرژی بدون اصلاحات ساختاری و ارتقای ابعاد مقبولیت و توسعه‌پذیری، نمی‌تواند افزایش پایدار تاب‌آوری اقتصادی را تضمین کند. این نتیجه با یافته‌های پورمختی‌آلمانی و همکاران (۱۴۰۲) و کهریزی و همکاران (۱۴۰۳) همسو است؛ زیرا این مطالعات نیز بر اهمیت کیفیت نهادی، بهره‌وری و ابعاد توسعه‌پذیری انرژی در تقویت پایدار تاب‌آوری اقتصادی تأکید دارند. شوک مثبت امنیت غذایی در تابع واکنش به ضربه آنی تاب‌آوری اقتصادی از ابتدای دوره اثر مثبتی بر تاب‌آوری اقتصادی دارد اما در دوره‌های بعدی میزان اثر مثبت کاهش یافته و سیستم به وضعیت تعادلی جدید نزدیک می‌شود. علاوه بر این الگوی نمودار واکنش تجمعی تاب‌آوری نسبت به شوک امنیت غذایی، بهبود تاب‌آوری اقتصادی طی دوره مورد بررسی را نمایش می‌دهد. این نتیجه نشان می‌دهد بر خلاف امنیت انرژی، امنیت غذایی به دلیل ماهیت ضروری و ارتباط مستقیم با سرمایه انسانی، اثر تجمعی مثبت و رو به افزایش بر تاب‌آوری اقتصادی دارد. شوک اقلیمی از طریق شاخص SPEI، نوسانات قابل توجهی در منحنی واکنش آنی تاب‌آوری اقتصادی ایجاد نمود. این نشان می‌دهد تاب‌آوری اقتصادی پس از شوک در یک الگوی نوسانی و ماندگار در طول دوره مورد بررسی باقی می‌ماند. همچنین تابع واکنش تجمعی بهبود تاب‌آوری اقتصادی ناشی از شوک اقلیم را نشان داد. یافته‌های آزمون علیت گرنجری بلوکی به عنوان آزمون مکمل در مدل نشان داد که رابطه علی از سمت امنیت غذایی به سمت سایر متغیرها در سیستم وجود دارد. این نتیجه با مبانی نظری امنیت غذایی که بر نقش دسترسی پایدار به غذا در حفظ ثبات اقتصادی و اجتماعی تأکید دارد، همسو است (FAO, 2002; Murendo et al., 2023). علاوه بر این آزمون علیت آنی رابطه علی از امنیت انرژی به سمت امنیت غذایی و تاب‌آوری اقتصادی تایید کرد. نتایج تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی نیز نشان داد که در کوتاه‌مدت

بخش عمده نوسانات تاب‌آوری اقتصادی توسط شوک‌های درونی این متغیر و در بلندمدت، امنیت غذایی سهم قابل توجهی در توضیح نوسانات تاب‌آوری اقتصادی دارد و نقش آن از امنیت انرژی پررنگ‌تر است. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تاب‌آوری اقتصادی در یک چارچوب سیستمی شکل می‌گیرد که در آن امنیت انرژی، امنیت غذایی و شوک‌های اقلیمی به‌طور همزمان بر پویایی‌های اقتصادی اثرگذار هستند. بنابراین، تقویت تاب‌آوری اقتصادی مستلزم اتخاذ رویکردی یکپارچه در سیاست‌گذاری حوزه‌های انرژی، غذا و مدیریت نوسانات اقلیمی است.

با توجه به نتایج پژوهش پیشنهادهای سیاستی زیر ارائه می‌شود: ۱. تقویت امنیت غذایی با حمایت هدفمند از تولیدکنندگان داخلی محصولات استراتژیک و استفاده از یارانه‌های هدفمند غذایی. توسعه سامانه‌های آبیاری کم‌مصرف و اصلاح الگوی کشت متناسب با تنش آبی. ۲. در حوزه انرژی، تمرکز بر تنوع‌بخشی به سبد انرژی و ارتقای بهره‌وری انرژی. در شرایط تداوم تحریم‌ها، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر غیرمتمرکز و در صورت کاهش تحریم‌ها جذب سرمایه خارجی برای بهبود زیرساخت انرژی. ۳. در حوزه اقلیمی، توسعه نظام هشدار سریع خشکسالی، توسعه فناوری‌های تصفیه مجدد آب فاضلاب. پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آینده، بررسی اثرات نامتقارن شوک‌های اقلیمی، روابط غیرخطی میان متغیرها با استفاده از مدل‌های رژیم سوئیچینگ مورد توجه قرار گیرد.

References:

- Al-Delaimy, W. K. (2020). Vulnerable populations and regions: Middle East as a case study. In *Health of People, Health of Planet and Our Responsibility* (pp. 121–133). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31125-4_11
- Alehile, K. S., Ebeh, J. E., Sani, I. A., & Opaluwa, H. I. (2024). Probing the interplay between climate change and global energy security: Insights from nonlinear analysis. *Energy Research Letters*, 5(4). <https://doi.org/10.46557/001c.94675>
- Arzhang, P., Abbasi, S. H., Sarsangi, P., Malekahmadi, M., Nikbaf-Shandiz, M., Bellissimo, N., & Azadbakht, L. (2022). Prevalence of household food insecurity among a healthy Iranian population: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1006543. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1006543>
- Asia Pacific Energy Research Centre. (2007). *A quest for energy security in the 21st century: Resources and constraints*. APERC. https://aperc.or.jp/file/2010/9/26/APERC_2007_A_Quest_for_Energy_Security.pdf

- Asia Pacific Energy Research Centre. (2019). *APEC energy demand and supply outlook* (7th ed., Vol. 1). APERC. <https://aperc.or.jp/publications/reports/outlook/7th/edition.html>
- Babayomi, O. O., Dahoro, D. A., & Zhang, Z. (2022). Affordable clean energy transition in developing countries: Pathways and technologies. *iScience*, 25(5), 104178. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104178>
- Bousso, R. (2025, May 19). Lifting U.S. sanctions on Iran could crush China's teapot oil refineries. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/energy/lifting-us-sanctions-iran-could-crush-chinas-teapot-oil-refineries-bousso-2025-05-19/>
- Briguglio, L. (2014). A vulnerability and resilience framework for small states. In D. Lewis-Bynoe (Ed.), *Building the resilience of small states: A revised framework* (pp. 10–76). London: Commonwealth Secretariat. <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/18015>
- Briguglio, L. (2016). Exposure to external shocks and economic resilience of countries: Evidence from global indicators. *Journal of Economic Studies*, 43(6), 1057–1078. <https://doi.org/10.1108/JES-12-2014-0203>
- Briguglio, L., Cordina, G., Farrugia, N., & Vella, S. (2008). Economic vulnerability and resilience concepts and measurements, WIDER Research Paper, No. 2008/55, ISBN 978-92-9230-103-3, The United Nations University World Institute for Development Economics Research (UNUWIDER), Helsinki. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/45146/1/571437761.pdf>
- Briguglio, L., Cordina, G., Farrugia, N., & Vella, S. (2009). Economic Vulnerability and Resilience: Concepts and Measurements. *Oxford Development Studies*, 37(3), 229–247. <https://doi.org/10.1080/13600810903089893>
- Carvalho, R., Buzna, L., Bono, F., Masera, M., Arrowsmith, D. K., & Helbing, D. (2014). Resilience of natural gas networks during conflicts, crises and disruptions. *PLoS ONE*, 9(3), e90265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090265>
- Casadio Tarabusi, E., & Guarini, G. (2013). An unbalance adjustment method for development indicators. *Social Indicators Research*, 112, 19–45. <https://doi.org/10.1007/s11205-012-0070-4>
- Du, Z., Zhang, H., Ye, Y., Jin, L., & Xu, Q. (2019). Urban shrinkage and growth: Measurement and determinants of economic resilience in the Pearl River Delta. *Journal of Geographical Sciences*, 29(8), 1331–1345. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1662-9>
- Edigareva, J., Khimich, T., Antonov, O., & González, J. Q. (2021). Energy security: Key concepts, components, and change of the paradigm. *Energy Security and Sustainability*, 1–15. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.16117>

- Enders, W. (2004). *Applied econometric time series* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Iranian Energy Association & Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. (2010). *Energy price reform in Iran*.
- Fang, D., Shi, S., & Yu, Q. (2018). Evaluation of sustainable energy security and an empirical analysis of China. *Sustainability*, 10(6), 1685. <https://doi.org/10.3390/su10061685>
- FAO. (2006). Food security. *FAO's Agricultural and Development Economics Division Policy Brief*, 2, 1–4. https://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/Global_perspectives/Policy_briefs/PB_02.pdf
- FAO. (2012). *At a glance: The role of energy in food security and climate* (Energy Smart Food for People and Climate Issues Paper No. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/an913e/an913e01.pdf>
- FAO. (2018). *Strengthening food energy systems for greater food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/items/442a57e1-98ff-4919-9e5c-3995a3216813>
- FAO. (2025). *Food security indicators*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS>
- Feinstein, C. (2002). *Economic development, climate change, and energy security: The World Bank's strategic perspective* (Energy and Mining Sector Board Discussion Paper Series No. 3). World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/862981468781813700/pdf/280860Econ0dev1ate0change0EMS0no-03.pdf>
- Ghaffary Fard, M., AbuNoori, A., & Nazari, R. (2022). Economic resilience of OIC member states and the factors affecting it: An approach to maintaining economic security. *Journal of Economic Policies and Research*, 1(2), 83-112. <https://doi.org/10.34785/J025.2022.024> (In Persian).
- Gohar, A. A., & Cashman, A. (2016). A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. *Agricultural Systems*, 147, 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.008>
- Guillaumont, P. (2009). An Economic Vulnerability Index: Its Design and Use for International Development Policy. *Oxford Development Studies*, 37(3), 193–228. <https://doi.org/10.1080/13600810903089901>
- Haile, D., Seyoum, A., & Azmeraw, A. (2022). Food and nutrition security impacts of resilience capacity: Evidence from Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100423. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100423>

- HokmAbadi, S. H., Falahi, M. A., & Salimifar, M. (2023). The Study of Good Governance Effect on Economic Resilience in the Selected Oil Producing Countries with Emphasis on Corruption Control. *Journal of Iranian Economic Development Analyses Alzahra University*, 9(2), 219-250. [Doi: 10.22051/IEDA.2023.42787.1346](https://doi.org/10.22051/IEDA.2023.42787.1346) (In Persian).
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, Pachauri, R. K., & Meyer, L. A. (Eds.)). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Kahrizi, M., habibi, F., & ghaderi, S. (2025). The Impact of Energy Security on Economic Resilience in MENA Countries. *Program and Development Research*, 6(1), 39-68. doi: 10.22034/pbr.2025.481525.1457 (In Persian).
- Karoliina, R., Jyrki, A., Kalle, A., & Pasi, R. (2023). The elements of resilience in the food system and means to enhance the stability of the food supply. *Environment Systems & Decisions*, 43(2), 143–160. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09889-5>
- Laraia, B. A. (2013). Food insecurity and chronic disease. *Advances in Nutrition*, 4(2), 203–212. <https://doi.org/10.3945/an.112.003277>
- Lascano Galarza, M. X. (2020). Resilience to food insecurity: Theory and empirical evidence from international food assistance in Malawi. *Journal of Agricultural Economics*, 71(3), 936–961. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12397>
- Le, T., & Nguyen, C. P. (2019). Is energy security a driver for economic growth? Evidence from a global sample. *Energy Policy*, 129, 436–451. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.038>
- Lütkepohl, H. (2005). *New introduction to multiple time series analysis*. Springer.
- Mazziotta, M., & Pareto, A. (2016). On a generalized non-compensatory composite index for measuring socio-economic phenomena. *Social Indicators Research*, 127, 983–1003. <https://doi.org/10.1007/s11205-015-0998-2>
- Mazziotta, M., & Pareto, A. (2017). Measuring well-being over time: The adjusted Mazziotta-Pareto index versus other non-compensatory indices. *Social Indicators Research*, 136(3), 967–976. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1577-5>
- Mesgaran, M. B., Madani, K., Hashemi, H., & Azadi, P. (2017). Iran's land suitability for agriculture. *Scientific Reports*, 7, 7670. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08066-y>
- Mirzaei, H., Sadeghi, H., Assari Arani, A., & Faraji Dizaji, S. (2024). The socioeconomic impact of food insecurity on labor productivity in Iran: Comparative analysis with the MENA region. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4970833>

- Miller, C. A. (2013). Energy resources and policy. In *Handbook of Energy* (pp. 149–166). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417013-1.00009-0>
- Murendo, C., Sisito, G., & Chirongwe, G. (2023). Resilience capacity, food consumption and socio-economic status in Zimbabwe. *Cogent Economics & Finance*, 11(1), 2176453. <https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2176453>
- Napoli, M., De Muro, P., & Mazziotta, M. (2011). *Towards a food insecurity multidimensional index (FIMI)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/fileadmin/templates/ERP/uni/FIMI.pdf>
- Noori, R., Maghrebi, M., Jessen, S., Bateni, S.M., Heggy, E., Javadi, S., Noury, M., Pistre, S., Abolfathi, S., & Aghakouchak, A. (2023). Decline in Iran's groundwater recharge. *Nature Communications*, 14(1). <https://escholarship.org/content/qt754816mx/qt754816mx.pdf>
- Liu, L., Meng, Y., Wu, D., Ran, Q., Cao, J., & Liu, Z. (2023). Impact of haze pollution and human capital on economic resilience: evidence from prefecture-level cities in China. *Environment, Development and Sustainability*, 25(11), 13429-13449. doi:<https://doi.org/10.1007/s10668-022-02625-8>
- Paravantis, J. A. (2019). Dimensions, components and metrics of energy security: Review and synthesis. *SPOUDAI - Journal of Economics and Business*, 69(4), 38–52. <https://ideas.repec.org/a/spd/journl/v69y2019i4p38-52.html#cites>
- Pourbagherian, M. (2023). *The effect of non-oil exports share on Iran's economic resilience* [Unpublished master's thesis]. Semnan University (In Persian).
- Pourmottaghi Almani, S., Shahabadi, A. and Mehregan, N. (2022). The Effect of Total Factor Productivity, Institution and Natural Resources Abundance on Economic Resilience. *The Journal of Economic Studies and Policies*, 9(2), 36-7. doi: [10.22096/esp.2022.130922.1374](https://doi.org/10.22096/esp.2022.130922.1374) (In Persian).
- Raei, H., Maleki, A., & Farajzadeh, Z. (2024). Analysis of energy policy reform in Iran: Energy and emission intensity changes. *Economic Analysis and Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.02.023>
- Sassi, M. T. (2020). The effect of food and energy security on political stability. *ScienceOpen Preprints*. <https://doi.org/10.14293/S2199-1006.1.SOR-.PPIR88T.v1>
- Shakeri Bostanabad, R., Mahdiar Esmali, M. R., & Salehi Komrudi, M. (2022). Investigating the Economic Resilience of Iran's Agriculture sector. *Agricultural Economics Research*, 13(4), 41-59. doi: 10.30495/jae.2021.20982.2000 (In Persian).
- Stiglitz, J. E., Sen, A., & Fitoussi, J.-P. (2009). *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/118025/118123/Fitoussi+Commission+report>.

- Tweeten, L. (1999). *Public regulation of food and agricultural markets* (Working Paper, 1–9). Department of Agriculture, Environmental, and Development Economics, The Ohio State University. <https://www.eolss.net/sample-Chapters/c10/E5-18-01.pdf>
- Warsono, W., Russels, E., Wamiliana, W., Widiarti, W., & Usman, M. (2019). Vector autoregressive with exogenous variable model and its application in modeling and forecasting energy data: Case study of PTBA and HRUM energy. *International Journal of Energy Economics Policy*, 9(2), 390-39. Retrieved from <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/7223>
- Xu, M., Shi, L., Zhao, J., Zhang, Y., Lei, T., & Shen, Y. (2025). Achieving agricultural sustainability: Analyzing the impact of digital financial inclusion on agricultural green total factor productivity. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1345678. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1345678>
- Zakari, A., Toplak, J., & Tomažič, L. M. (2022). Exploring the relationship between energy and food security in Africa with instrumental variables analysis. *Energies*, 15(15), 5473. <https://doi.org/10.3390/en15155473>
- Zhang, J. (2025). Digital economy, green finance, and economic resilience. *PLOS ONE*, 20(3), e0298456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298456>
- Zhang, X., & Tian, C. (2024). Measurement and influencing factors of regional economic resilience in China. *Sustainability*, 16(8), 3338. <https://doi.org/10.3390/su16083338>
- Zivot, E., & Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251–270.