

## Modeling Economic Growth with an Emphasis on the Climatic Effects of Temperature and Precipitation Using a Hybrid Bayesian Model Averaging–Spline Regression Approach

Mojtaba Mohammadnejadi Moodi<sup>1</sup> | Seyyed Kamal Sadeghi<sup>2</sup> | Davood Behboudi<sup>3</sup> | Habib Agajani<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D. Candidate, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [mojtaba1982@gmail.com](mailto:mojtaba1982@gmail.com)
2. Professor, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [seyedkamal-sadeghi@tabrizu.ac.ir](mailto:seyedkamal-sadeghi@tabrizu.ac.ir)
3. Professor, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [dbehbudi@tabrizu.ac.ir](mailto:dbehbudi@tabrizu.ac.ir)
4. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: [h.aghajani@tabrizu.ac.ir](mailto:h.aghajani@tabrizu.ac.ir)

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 25 May 2026

Revised in revised form:  
4 July 20226

Accepted: 7July 2026,

Published online: 7July  
2026

JEL: O40, Q54, C11

#### Keywords:

Spline  
Climate  
Precipitation  
Temperature  
Economic Growth .

The relationship between climate variability and economic growth—particularly through temperature and precipitation—has become a central topic in growth economics and environmental economics. Empirical evidence indicates that the impact of these climatic variables on economic performance is often non-linear and non-uniform over time, implying that traditional linear models may reduce estimation accuracy and overlook important structural information. Accordingly, the main objective of this study is to model economic growth with an emphasis on the roles of temperature and precipitation using a hybrid framework that integrates Bayesian Model Averaging (BMA) with panel spline regression. This exploratory study examines 57 member countries of the Organization of Islamic Cooperation (OIC) over the period 1985–2023. In the first stage, the most efficient modeling strategy was selected from among BMA, TVP-DMA, TVP-DMS, and WALS. The in-sample forecasting results confirmed the superiority of the Bayesian Model Averaging approach. Using this method, twenty robust determinants of economic growth were identified, with economic openness emerging as the most influential variable. The results further showed that while temperature change and precipitation ranked lower in the posterior inclusion probabilities, both exerted a negative and statistically significant effect on economic growth. In the second stage, a three-knot panel spline regression was employed to examine how the intensity of these effects varies across different regimes. The findings revealed that, unlike many economic variables that follow an inverted-U pattern, the negative impact of precipitation and temperature on economic growth becomes progressively stronger across subsequent knots

*\* This article is extracted from the Ph.D. dissertation of Mojtaba Mohammadnejadi Moodi*

Cite this article: Mohammadnejadi, M. M., Sadeghi, K., Behboudi, D., Agajani, H., (2026) Modeling Economic Growth with an Emphasis on the Climatic Effects of Temperature and Precipitation Using a Hybrid Bayesian Model Averaging–Spline Regression Approach. *Stable Economy Journal*,7(2),169-200.

DOI: 10.22111/sedj.2026.55430.1705



© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/sedj.2026.55430.1705

## Extended Abstract

---

### Introduction

The extent of the effects and consequences of climate change on various aspects of human life today has taken this phenomenon beyond an environmental issue and highlighted its economic aspects considering its effects on economic development, poverty, inequality, and welfare. The economic impact of climate change in recent decades has attracted increasing attention from researchers and policymakers. To quantify the impact of climate change on the economy, the relationships between precipitation, temperature, and economic growth are used.

As global climate moves toward warmer conditions, the frequency and severity of extreme weather events are also increasing. However, model performance and differences in predictions among studies complicate the use of econometric estimates of climate. Understanding the optimal relationship between climate and economic outcomes is particularly important when forecasting the effects of global warming. In the majority of studies, a nonlinear relationship between these variables has been confirmed.

Using traditional methods in regression analysis often leads to loss of information or jeopardizes the interpretability of the results. One recommended but rarely used method for modeling nonlinear relationships in regression models is spline functions. Therefore, the main objective of the present study is to model economic growth with an emphasis on the effect of climate variables, temperature, and precipitation using a hybrid approach of Bayesian averaging and spline regression to capture this nonlinear behavior.

### Method

Using a Cobb-Douglas production function, this study investigates the impact of temperature and precipitation—as indicators of climate change—on the economic growth of 57 member countries of the Organization of Islamic Cooperation (OIC) from 1990 to 2023. The extended production function incorporating climate variables is specified as follows:

$$Y_{i,t} = A_{i,t} K_{i,t}^{\alpha} L_{i,t}^{\theta} P_{i,t}^{\mu} T_{i,t}^{\vartheta} e^{\varepsilon_{i,t}} \quad (1)$$

where  $Y_{i,t}$  represents economic output;  $A_{i,t}$  is total factor productivity;  $K_{i,t}$  is capital stock;  $L_{i,t}$  is labor;  $P_{i,t}$  is precipitation; and  $T_{i,t}$  is temperature. The subscripts  $i$  and  $t$  denote country and time dimensions, respectively, while  $\varepsilon_{i,t}$  is the error term. The parameters  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $\mu$ , and  $\vartheta$  represent the elasticities of output with respect to capital, labor, precipitation, and temperature. To linearize the function for empirical estimation, we take the natural logarithm of both sides:

$$\ln Y_{i,t} = \ln A_{i,t} + \alpha \ln K_{i,t} + \theta \ln L_{i,t} + \mu \ln P_{i,t} + \vartheta \ln T_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

The research methodology consists of two primary stages: Variable Selection (Modeling) and Estimation. In the first stage, we use model averaging to address model uncertainty, and in the second stage, we employ a panel spline regression to capture potential non-linearities.

### Results:

Based on the findings of the modeling stage, Bayesian Model Averaging (BMA) was identified as the most efficient approach compared with the alternative model averaging methods, including TVP-DMA, TVP-DMS, and WALS. The in-sample forecasting results confirmed the superior predictive performance of the BMA approach in explaining economic growth across the selected countries. Accordingly, twenty robust determinants of economic growth were identified among the candidate variables. Among these determinants, economic openness had the highest posterior inclusion probability and was recognized as the most influential variable affecting economic growth. The results also indicated that trade-related variables, including economic openness, non-oil exports, oil exports, and the KOF globalization index, play a key role in explaining growth dynamics in the member countries of the Organization of Islamic Cooperation. In addition, institutional quality, infrastructure, private investment, and sectoral variables such as industry and services were found to have positive effects on economic growth. In contrast, macroeconomic instability indicators, including liquidity, the unofficial exchange rate, producer inflation, budget deficit, unemployment, and corruption, exerted negative effects on growth. Although the climatic variables of precipitation and temperature change were ranked lower than some economic and institutional variables in terms of posterior importance, their effects on economic growth were statistically significant and negative. This finding confirms that climate variables are relevant determinants of growth performance, particularly in economies that are more exposed to environmental shocks and climate-related vulnerabilities. In the second stage, the panel spline regression with three knots was applied to examine the nonlinear and regime-dependent effects of the selected variables on economic growth.

The results showed that the impact of the explanatory variables is not constant across different regimes. For many economic and institutional variables, the estimated effects followed an inverted U-shaped pattern, indicating that their growth-enhancing impacts increase up to a certain threshold and then decline. However, the climatic variables exhibited a different pattern. The negative effects of precipitation and temperature change on economic growth became stronger across successive knots, suggesting that climate-related damages intensify as economies move into later regimes.

#### Conclusion:

The findings of this study provide evidence that economic growth in the member countries of the Organization of Islamic Cooperation is influenced by a combination of economic, institutional, structural, and climatic factors. The results of the Bayesian Model Averaging approach demonstrate that economic openness is the most important and robust determinant of growth, followed by other trade-related and globalization indicators. This highlights the importance of integration into regional and global markets, export diversification, and greater participation in international economic interactions for promoting growth. At the same time, the results confirm that climate change, represented by temperature change and precipitation, has a negative and significant impact on economic growth. Although these variables do not rank among the highest-priority determinants in the BMA results, their adverse effects are economically meaningful and become more pronounced when nonlinearities are taken into account. The panel spline regression results show that, unlike many economic variables that display an inverted U-shaped relationship with growth, the negative effects of temperature and precipitation intensify across the identified knots. Therefore, the main conclusion of the study is that the relationship between climate variables and economic growth is nonlinear, regime-dependent, and increasingly harmful over time. These findings suggest that conventional linear models may underestimate the true economic costs of climate change. Consequently, growth policies in OIC countries should not focus solely on traditional economic drivers such as trade openness, investment, and infrastructure, but should also incorporate climate adaptation strategies, sustainable resource management, and institutional reforms aimed at reducing vulnerability to temperature and precipitation shocks. In this regard, the hybrid BMA–panel spline framework provides a more comprehensive and accurate approach for identifying robust growth determinants and capturing the nonlinear effects of climate variables on economic performance.

#### Ethical Considerations

**Compliance with ethical guidelines:** All applicable ethical guidelines were followed.

**Funding:** No funding.

**Authors' contribution:** This article is extracted from the Ph.D. dissertation of Mojtaba Mohammadnejadi Moodi (first author and corresponding author) under the supervision of Professor Seyyed Kamal Sadeghi, with advisory support from Professor Davood Behboudi and Dr. Habib Agajani, in University of Tabriz.

- Mojtaba Mohammadnejadi Moodi: Conceptualization, data collection, methodology (BMA, TVP-DMA, TVP-DMS, WALs, Spline), software implementation, formal analysis, writing – original draft, visualization.
- Professor Seyyed Kamal Sadeghi: Supervision, validation, methodology review, writing – review & editing.
- Professor Davood Behboudi: Advisory support, theoretical framework, data curation, critical revision, interpretation of results, writing – review & editing.
- Associate Professor Habib Agajani: Advisory support, theoretical framework, data curation, critical revision, interpretation of results, writing – review & editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript

**Conflict of interest:** The authors 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..

## مدل‌سازی رشد اقتصادی با تأکید بر اثر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی با استفاده از رویکرد هیبریدی میانگین‌گیری بیزین و رگرسیون اسپلاین\*

مجتبی محمدنژادی مودی<sup>۱</sup> | سید کمال صادقی<sup>۲</sup> | داود بهبودی<sup>۳</sup> | حبیب آقاجانی<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه توسعه اقتصادی و برنامه ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[Mojtaba1982@gmail.com](mailto:Mojtaba1982@gmail.com)

۲. استاد، گروه توسعه اقتصادی و برنامه ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران [seyedkamel-sadeghi@tabrizu.ac.ir](mailto:seyedkamel-sadeghi@tabrizu.ac.ir)

۳. استاد، گروه توسعه اقتصادی و برنامه ریزی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران [dbehbudi@tabrizu.ac.ir](mailto:dbehbudi@tabrizu.ac.ir)

۴. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران [h.aghajani@tabrizu.ac.ir](mailto:h.aghajani@tabrizu.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رابطه میان تغییرات اقلیمی و رشد اقتصادی، به‌ویژه از مسیر متغیرهای دما و بارش، یکی از موضوعات مهم در اقتصاد رشد و اقتصاد محیط‌زیست است. شواهد تجربی نشان می‌دهد که اثر این متغیرها بر عملکرد اقتصادی غالباً خطی و یکنواخت نیست و استفاده از مدل‌های سنتی خطی می‌تواند به کاهش دقت برآورد و از دست رفتن بخشی از اطلاعات منجر شود. بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر، مدل‌سازی رشد اقتصادی با تأکید بر نقش متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی، با استفاده از رویکرد ترکیبی میانگین‌گیری بیزین و رگرسیون اسپلاین پانلی است. این پژوهش از نوع اکتشافی بوده و ۵۷ کشور عضو سازمان همکاری اسلامی را طی دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۳ بررسی می‌کند. در مرحله نخست، کاراترین روش مدل‌سازی از میان رویکردهای BMA، TVP-DMA، TVP-DMS و WALs انتخاب شد که نتایج پیش‌بینی درون‌نمونه‌ای، برتری روش میانگین‌گیری بیزین را تأیید کرد. بر اساس این روش، ۲۰ متغیر غیرشکننده مؤثر بر رشد اقتصادی شناسایی شدند که باز بودن اقتصاد مهم‌ترین آن‌ها بود. نتایج نشان داد متغیرهای اقلیمی بارش و تغییر دما، اگرچه در اولویت‌های پایین‌تر قرار دارند، اما اثری منفی و معنادار بر رشد اقتصادی دارند. در مرحله دوم، با استفاده از رگرسیون اسپلاین پانلی سه‌گانه‌ای، تغییر شدت اثرگذاری متغیرها در رژیم‌های مختلف بررسی شد. یافته‌ها نشان داد برخلاف بسیاری از متغیرهای اقتصادی که الگوی U معکوس دارند، اثر منفی بارش و دما بر رشد اقتصادی در گره‌های متوالی تشدید می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۳/۴	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۴/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۱۶	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۴/۱۶	
JEL: O40, Q54, C11	
واژه‌های کلیدی:	
اسپلاین	
اقلیم	
بارندگی	
دما	
رشد اقتصادی	

\* مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول در دانشگاه تبریز است.

استناد: محمدنژادی مودی، مجتبی؛ صادقی، سید کمال؛ داودی، بهبود؛ و آقاجانی، حبیب؛ (۱۴۰۵). مدل‌سازی رشد اقتصادی با تأکید بر اثر متغیرهای

اقلیمی دما و بارندگی با استفاده از رویکرد هیبریدی میانگین‌گیری بیزین و رگرسیون اسپلاین. *اقتصاد باثبات*، ۷ (۲)، ۱۶۸-۲۰۰.

DOI: 10.22111/sedj.2026.55430.1705



## ۱. مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی جوامع انسانی تبدیل شده است؛ چالشی که آثار آن تنها به حوزه محیط‌زیست محدود نمی‌شود؛ بلکه ابعاد اقتصادی، اجتماعی و رفاهی زندگی بشر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. شواهد موجود نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی می‌تواند بر فعالیت‌های اقتصادی، مسیر رشد اقتصادی، سطح فقر، نابرابری و رفاه اجتماعی اثرگذار باشد (Chang et al. 2023; Li et al. 2023; Tian et al. 2021; Azari et al. 2022) با حرکت اقلیم جهانی به سمت شرایط گرم‌تر، فراوانی و شدت رخداد‌های آب‌وهوایی نامطلوب نیز افزایش یافته است و همین امر ضرورت بررسی پیامدهای اقتصادی تغییرات اقلیمی را بیش از پیش برجسته می‌سازد (Cui & Tang, 2024). از این‌رو، شناخت دقیق رابطه میان متغیرهای اقلیمی و عملکرد اقتصادی، به‌ویژه در زمینه پیش‌بینی آثار گرمایش جهانی، اهمیت اساسی دارد؛ زیرا سیاست‌گذاران برای طراحی پاسخ‌های مناسب به تغییرات آب‌وهوایی به شواهد معتبر و قابل اتکا نیازمندند (Newell et al. 2021).

مطالعات بین‌کشوری حاکی از آن است که افزایش دما می‌تواند رشد اقتصادی را به‌طور معناداری کاهش دهد و این اثر در کشورهای فقیر و کم‌درآمد شدت بیشتری دارد (Henseler et al. 2019). با وجود این، تفسیر چنین نتایجی همواره با ملاحظات همراه است؛ زیرا بخشی از اثرات مشاهده‌شده ممکن است ناشی از متغیرهای حذف‌شده‌ای مانند عوامل سیاسی، فرهنگی، اجتماعی و نهادی باشد؛ بنابراین، یکی از مسائل مهم در این زمینه، طراحی مدلی مناسب برای شناسایی و تبیین عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی در کشورهای عضو سازمان همکاری اسلامی است؛ به‌گونه‌ای که بتواند نقش متغیرهای اقلیمی را در کنار سایر عوامل اثرگذار به‌درستی آشکار سازد.

از سوی دیگر، شدت و جهت اثرگذاری تغییرات اقلیمی بر رشد اقتصادی به توانایی کشورها در به‌کارگیری سازوکارهای مقابله، کاهش آسیب‌پذیری و سازگاری با شرایط جدید بستگی دارد (Chamma 2024; Pachauri et al. 2014; Rosen & Guenther 2015). در همین راستا، ژانگ و ایوب<sup>۱</sup> (۲۰۲۱)، تأکید می‌کنند که راهبردهای سازگاری باید هم در سطح ملی و هم در سطح فردی طراحی و اجرا شوند تا کارایی سازوکارهای مقابله با تغییرات اقلیمی افزایش یابد. این راهبردها می‌تواند اقداماتی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از فناوری‌های کارآمد انرژی و اصلاح الگوهای مصرف را دربر گیرد؛ بنابراین، بررسی رابطه میان شرایط اقلیمی و رشد اقتصادی تنها از منظر آسیب‌شناسی اهمیت ندارد؛ بلکه می‌تواند مبنایی برای تدوین سیاست‌های سازگاری، کاهش خسارت‌ها و حفظ رشد اقتصادی پایدار فراهم کند. در این چارچوب، درک بهتر پیوند میان آب‌وهوا

---

<sup>1</sup> Zhang & Ayyub

و نتایج اقتصادی برای پیش‌بینی آثار گرمایش جهانی و طراحی سیاست‌های مبتنی بر شواهد اهمیت ویژه‌ای دارد (Newell et al. 2021).

اگرچه آثار آب‌وهوا بر اقتصاد از منظرهای نظری و تجربی به‌طور گسترده بررسی شده است؛ اما سازوکارهای پیچیده، چندبعدی و احتمالاً غیرخطی اثرگذاری تغییرات اقلیمی بر اقتصاد همچنان نیازمند تحلیل‌های دقیق‌تر است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که متغیرهایی مانند بهره‌وری بخش کشاورزی، کارایی نیروی کار، بهره‌وری کل عوامل تولید و مصرف نسبت به نوسانات آب‌وهوایی حساس هستند (Jin & shen 2022; Wang & Lin 2021). با این حال، در بسیاری از پژوهش‌ها، روابط میان متغیرهای اقلیمی و رشد اقتصادی به‌صورت خطی فرض شده است؛ در حالی که ماهیت اثرگذاری دما، بارندگی و سایر شاخص‌های اقلیمی می‌تواند در سطوح مختلف، الگوهای متفاوتی داشته باشد. بر این اساس، مسئله اصلی دیگر پژوهش حاضر، بررسی فرآیند اثرگذاری متغیرهای منتخب، به‌ویژه دما و بارندگی، بر رشد اقتصادی کشورهای عضو سازمان همکاری اسلامی با تأکید بر امکان وجود روابط غیرخطی است.

اهمیت تمرکز بر کشورهای عضو سازمان همکاری اسلامی از چند جنبه قابل توجه است. این سازمان با ۵۷ کشور عضو از قاره‌های آسیا، آفریقا، اروپا و آمریکا، پس از سازمان ملل متحد یکی از بزرگ‌ترین سازمان‌های بین‌دولتی از نظر تعداد اعضا به‌شمار می‌رود و حدود یک‌چهارم جمعیت جهان را دربر می‌گیرد. کشورهای عضو این سازمان از نظر موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی، سطح درآمد، ساختار اقتصادی و منابع درآمدی تفاوت‌های قابل توجهی دارند. برخی از این کشورها وابستگی بیشتری به کشاورزی دارند، برخی از درآمدهای گردشگری بهره‌مندند و برخی دیگر متکی بر منابع انرژی، به‌ویژه نفت، هستند؛ بنابراین، تغییرات اقلیمی می‌تواند آثار متفاوتی بر میزان، ترکیب و پایداری درآمد این کشورها داشته باشد. از این منظر، تحلیل پیامدهای اقتصادی تغییرات اقلیمی در این گروه از کشورها می‌تواند به فهم بهتر آسیب‌پذیری‌ها، ظرفیت‌های سازگاری و نیازهای سیاستی آن‌ها کمک کند و زمینه‌ای برای هماهنگی بیشتر در مواجهه با چالش‌های اقلیمی فراهم آورد.

با توجه به ناهمگنی رفتاری، ساختاری و اقلیمی کشورهای مورد بررسی، استفاده از رگرسیون پانلی ساده ممکن است برای تبیین دقیق روابط میان متغیرها کافی نباشد. در چنین شرایطی، به‌کارگیری رویکردهایی که توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی و انعطاف‌پذیر را دارند، اهمیت می‌یابد. یکی از فروض رایج در تحلیل رگرسیون آن است که متغیر توضیحی به‌صورت خطی با متغیر وابسته ارتباط دارد؛ اما اگر این فرض نقض شود و مدل همچنان به‌صورت خطی برآورد گردد، ضرایب تخمینی می‌توانند ناکارا باشند و پیش‌بینی‌ها نیز از دقت کافی برخوردار نخواهند بود. برای مدل‌سازی روابط غیرخطی، روش‌های مختلفی مانند رگرسیون چندجمله‌ای، از جمله مدل‌های درجه دوم و سوم، و

همچنین طبقه‌بندی متغیرها بر اساس مقادیر آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، این روش‌ها محدودیت‌هایی دارند. به‌طور مثال، در رگرسیون چندجمله‌ای تفسیر ضرایب دشوار می‌شود. زیرا ضرایب جملات مختلف را نمی‌توان به‌صورت مستقل از یکدیگر تحلیل کرد (Schuster et al., 2022).

رویکرد دیگر، طبقه‌بندی یا گروه‌بندی نمونه بر اساس چارک‌ها، دهک‌ها یا سایر نقاط برش است. با وجود رواج این روش، دسته‌بندی متغیرهای پیوسته می‌تواند موجب از دست رفتن اطلاعات، ایجاد ناپوستگی در مقدار میانگین تخمینی و دشواری در مقایسه نتایج میان مطالعات مختلف شود؛ زیرا نقاط برش اغلب وابسته به داده‌های هر مطالعه هستند (Harrell 2015). نحوه مدل‌سازی روابط غیرخطی و شیوه طبقه‌بندی مواجهه با متغیرها، تأثیر بسزایی بر نتایج نهایی پژوهش دارد (Schuster et al., 2022) (شوستر و همکاران، ۲۰۲۲). از آنجا که اثر تغییرات اقلیمی (دما و بارندگی) بر رشد اقتصادی کشورهای عضو OIC به دلیل تفاوت‌های ساختاری، درآمدی و جغرافیایی غیرخطی و ناهمگن است، روش‌های سنتی مانند GMM به دلیل تحمیل فرم تابعی خطی یا از پیش تعیین‌شده، توانایی کافی برای آشکارسازی نقاط آستانه‌ای و شکل واقعی این اثرگذاری را ندارند. در مقابل، رگرسیون اسپلاین با انعطاف‌پذیری بالا، امکان مدل‌سازی منعطف و قطعه‌ای روابط غیرخطی را بدون نیاز به دسته‌بندی مصنوعی داده‌ها فراهم می‌کند (James et al., 2013). بنابراین، در این پژوهش ترکیب میانگین‌گیری بیزین (BMA) جهت کاهش عدم قطعیت در انتخاب متغیرها، و رگرسیون اسپلاین پانلی برای تبیین دقیق سازوکار غیرخطی اقلیم، چارچوب واقع‌بینانه‌تر و پایدارتری نسبت به روش‌های خطی متداول ارائه می‌دهد.

## ۲. ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق

در ادبیات جدید اقتصاد اقلیم، شرایط آب‌وهوایی یکی از عوامل مهم اثرگذار بر فرآیند تولید و رشد اقتصادی تلقی می‌شود؛ زیرا تغییرات دما و بارندگی می‌تواند از مسیرهایی مانند کاهش بهره‌وری نیروی کار، اختلال در تولید کشاورزی، افزایش هزینه‌های انرژی، آسیب به زیرساخت‌ها، تغییر در الگوی سرمایه‌گذاری و کاهش بهره‌وری کل عوامل تولید، عملکرد اقتصادی کشورها را تحت تأثیر قرار دهد. از این منظر، آب‌وهوا صرفاً یک عامل محیط‌زیستی بیرونی نیست؛ بلکه متغیری اثرگذار بر ظرفیت تولیدی اقتصادها محسوب می‌شود. فانکهاوزر و تول<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، نیز بیان می‌کنند که آب‌وهوا بر طیف گسترده‌ای از عواملی که تعیین‌کننده رشد اقتصادی هستند، اثر می‌گذارد.

<sup>۱</sup> Fankhauser & Tol

ادبیات تجربی نسبتاً گسترده‌ای نیز رابطه میان آب‌وهوا و نتایج اقتصادی را بررسی کرده است. بخش قابل توجهی از این مطالعات نشان داده‌اند که میان متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و بارش، و رشد اقتصادی رابطه‌ای منفی و خطی وجود دارد؛ به این معنا که افزایش دما یا تغییرات نامطلوب در بارندگی می‌تواند موجب کاهش تولید، افت بهره‌وری و کند شدن رشد اقتصادی شود (Dell et al. 2009 & 2012; Henseler et al. 2019; Li et al. 2020; Letta et al. 2018; Barrios et al. 2010; Somanatan et al. 2021; Zhang et al. 2018). با وجود این، برخی مطالعات دیگر نشان داده‌اند که اثر آب‌وهوا بر نتایج اقتصادی الزاماً خطی و یکنواخت نیست؛ بلکه می‌تواند در سطوح مختلف دما و بارندگی تغییر کند. در این مطالعات، رابطه غیرخطی میان متغیرهای اقلیمی و عملکرد اقتصادی، به‌ویژه رابطه U شکل معکوس بین دما و بهره‌وری، مورد تأکید قرار گرفته است؛ به این معنا که دما تا سطحی مشخص ممکن است اثر محدود، خنثی یا حتی مثبت بر فعالیت‌های اقتصادی داشته باشد؛ اما پس از عبور از یک آستانه معین، آثار منفی آن بر بهره‌وری و رشد اقتصادی شدت می‌گیرد (Burke et al. 2015; Deryugina et al. 2014; Zhang et al. 2018; Kumar et al. 2019; Cai et al. 2018; Chang et al. 2020; Chen et al. 2019; Yang et al. 2020).

برای تحلیل دقیق اثرات اقلیمی بر رشد اقتصادی، متغیرهای دما و بارندگی در کنار نهاده‌های سنتی وارد تابع تولید می‌شوند. با پیروی از دوگانلار<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، تابع تولید کاب-داگلاس تعمیم‌یافته به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$Y_{i,t} = A_{i,t} K_{i,t}^{\alpha} L_{i,t}^{\theta} P_{i,t}^{\mu} T_{i,t}^{\vartheta} e^{\varepsilon_{i,t}} \quad (1)$$

که در آن،  $Y$  تولید (رشد اقتصادی)،  $A$  بهره‌وری کل عوامل تولید،  $K$  موجودی سرمایه،  $L$  نیروی کار،  $P$  بارش،  $T$  دما،  $\varepsilon$  جمله خطا، و ضرایب  $\alpha$ ،  $\theta$ ،  $\mu$  و  $\vartheta$  نشان‌دهنده کشش تولید نسبت به نهاده‌ها هستند. شکل لگاریتمی این رابطه به صورت زیر است:

$$\ln Y_{i,t} = a_{i,t} + \alpha \ln K_{i,t} + \theta \ln L_{i,t} + \mu \ln P_{i,t} + \vartheta \ln T_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

از آنجا که فرض کشش ثابت در تابع کلاسیک، تعاملات پیچیده اقلیم با ساختار تولید، سرمایه و نیروی کار را نادیده می‌گیرد، مدل با وارد کردن سرمایه انسانی ( $H$ )، جملات درجه دوم (برای نمایش اثرات آستانه‌ای خشکسالی، بارش‌های شدید و نوسانات دمایی) و اثرات متقابل توسعه می‌یابد:

$$Y_{i,t} = A_{i,t} K_{i,t}^{\alpha} L_{i,t}^{\theta} H_{i,t}^{\lambda} P_{i,t}^{\mu} T_{i,t}^{\vartheta} \exp [\gamma_1 T_{i,t}^2 + \gamma_2 P_{i,t}^2 + \gamma_3 T_{i,t} P_{i,t} + \gamma_4 T_{i,t} \ln K_{i,t} + \gamma_5 P_{i,t} \ln L_{i,t} + \varepsilon_{i,t}] \quad (3)$$

<sup>۱</sup> Doğanlar

شکل لگاریتمی این تابع تولید توسعه‌یافته با در نظر گرفتن اثرات ثابت فردی ( $a_i$ ) و زمانی ( $\delta_t$ ) به صورت زیر تصریح می‌شود:

(۴)

$$\ln Y_{i,t} = a_i + \delta_t + \alpha \ln K_{i,t} + \theta \ln L_{i,t} + \lambda \ln H_{i,t} + \mu \ln P_{i,t} + \vartheta \ln T_{i,t} + \gamma_1 T_{i,t}^2 + \gamma_2 P_{i,t}^2 + \gamma_3 T_{i,t} P_{i,t} + \gamma_4 (T_{i,t} \times \ln K_{i,t}) + \gamma_5 (P_{i,t} \times \ln L_{i,t}) + \varepsilon_{i,t}$$

با وجود انعطاف‌پذیری رابطه (۴)، جملات درجه دوم همواره قادر به تبیین کامل رفتار پیچیده و قطعه‌ای اقلیم نیستند. بدین منظور، چارچوب تولید با رویکرد رگرسیون اسپلاین بازنویسی می‌شود تا بدون تحمیل فرم تابعی سخت‌گیرانه، رفتار غیرخطی متغیرها را برآورد کند:

(۵)

$$\ln Y_{i,t} = a_i + \delta_t + \alpha \ln K_{i,t} + \theta \ln L_{i,t} + \lambda \ln H_{i,t} + f(T_{i,t}) + g(P_{i,t}) + h(T_{i,t}, P_{i,t}) + \varepsilon_{i,t}$$

که در آن،  $f(T_{i,t})$  تابع غیرخطی دما،  $g(P_{i,t})$  تابع غیرخطی بارندگی و  $h(T_{i,t}, P_{i,t})$  تابع تعاملی آن‌ها است. این توابع با استفاده از توابع پایه اسپلاین به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$f(T_{i,t}) = \sum_{m=1}^M \beta_m B_m(T_{i,t}) \quad (۶)$$

$$g(P_{i,t}) = \sum_{n=1}^N \phi_n C_n(P_{i,t}) \quad (۷)$$

$$h(T_{i,t}, P_{i,t}) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \psi_{mn} B_m(T_{i,t}) C_n(P_{i,t}) \quad (۸)$$

در این روابط،  $B_m(T_{i,t})$  و  $C_n(P_{i,t})$  توابع پایه اسپلاین و ضرایب  $\beta_m$ ،  $\phi_n$  و  $\psi_{mn}$  نشان‌دهنده شدت اثرگذاری دما، بارندگی و تعامل آن‌ها در بازه‌های مختلف توزیع است. این رویکرد ترکیبی، امکان شناسایی دقیق نقاط چرخش و اثرات نامتقارن اقلیم بر رشد اقتصادی را در کشورهای OIC (با وجود ناهمگنی‌های ساختاری و درآمدی شدید) فراهم می‌سازد.

## ۲-۱. مطالعات داخلی

عباسی و همکاران (۱۴۰۴) با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری پنبلی (PVAR)، اثر تغییر اقلیم و پیشرفت تکنولوژی (شاخص ECI) را بر رشد اقتصادی کشورهای منا در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۵ بررسی کردند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سهم تغییرات اقلیمی در توضیح نوسانات رشد اقتصادی این کشورها محدود و تنها حدود ۵ درصد است.

آذری و همکاران (۱۴۰۳) با به‌کارگیری الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest)، تأثیر شرایط جوی بر تولید اقتصادی استان‌های ایران را در دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۹ پیش‌بینی کردند. یافته‌ها نشان داد بارش نسبت به دما اهمیت بیشتری در تولید دارد و استان‌هایی نظیر کرمان، سمنان و ایلام بیشترین تأثیرپذیری را دارند؛ همچنین اثرگذاری دما در ماه‌های سرد سال برجسته‌تر از ماه‌های گرم است.

آذری و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای دیگر، اثر تغییر اقلیم بر رشد تولید ناخالص داخلی استانی را در دوره‌های زمانی مختلف (پانل و تفاضل طولانی) تحلیل کردند. نتایج حاکی از اثر منفی و اندک تغییرات هم‌زمان و باوقفه دما و بارش بر تولید است. در بلندمدت (رگرسیون تفاضل طولانی)، تغییرات بارش نسبت به دما قدرت تأثیرگذاری و پایداری بیشتری بر تولید استان‌ها نشان داد. رحیمی کاه‌کشی و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از الگوی میانگین‌گیری پویای مدل (DMA)، عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی ایران را در دوره ۱۴۰۰-۱۳۶۰ شناسایی کردند. نتایج نشان داد مخارج جاری، مالیات، نابرابری، مصرف خانوار و سرمایه‌گذاری کلیدی‌ترین متغیرها هستند، اما شدت اثرگذاری آن‌ها تحت تأثیر شوک‌های برون‌زا نظیر جنگ، تحریم و نوسانات نفتی در طول زمان تغییر یافته است.

## ۲-۲. مطالعات خارجی

ورما و همکاران (۲۰۲۶) با داده‌های سالانه هند (۱۹۹۱-۲۰۲۳) و با استفاده از فیلتر همیلتون، روش  $ARDL^1$  و مدل  $VAR^3$  اثر نوسانات اقلیمی و متغیرهای کلان بر رشد اقتصادی را بررسی کردند. نتایج نشان داد دما اثر منفی و بارندگی، تورم، عرضه پول و انتشار کربن اثر مثبت بلندمدت بر تولید سرانه دارند. واکنش‌های آنی نیز اثر پایدار و کاهنده شوک دما را تأیید می‌کند و بر ضرورت لحاظ ریسک اقلیمی در سیاست‌گذاری تأکید دارد.

ورما و همکاران (۲۰۲۵) برای ۴۳ کشور آسیایی (۱۹۹۴-۲۰۲۳) شوک‌های دما و بارندگی را با فیلتر همیلتون استخراج و با روش‌های  $GMM$  پانلی و دریسکول-کرای تحلیل کردند. یافته‌ها نشان داد شوک‌های اقلیمی اثر منفی معناداری بر رشد سرانه دارند و شوک دما مخرب‌ترین است. همچنین متغیرهایی مانند عرضه پول، تورم و تشکیل سرمایه دولتی می‌توانند بخشی از اثرات منفی اقلیم را جذب کرده و نقش تعدیل‌کننده ایفا کنند.

وان و وانگ<sup>۴</sup> (۲۰۲۴) اثر آب‌وهوا بر رشد اقتصادی استان‌های چین (۲۰۰۱-۲۰۲۰) را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد دما رشد را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، اما بارش اثر معناداری ندارد. تأثیر منفی دما غیرخطی است و در سطوح بالاتر دما، به‌ویژه در استان‌های برخوردار، شدت بیشتری پیدا می‌کند.

<sup>1</sup> Verma

<sup>2</sup> Autoregressive Distributed Lag

<sup>3</sup> Vector Autoregressive

<sup>4</sup> Wan & Wang

چاما (۲۰۲۴) با داده‌های پانل ۴۳ کشور جنوب صحرای آفریقا (۱۹۷۰-۲۰۱۹)، اثر تغییرات اقلیم را بر رشد کل و بخشی بررسی کرد. افزایش دما و کاهش بارندگی رشد اقتصادی را در کل بخش‌ها کاهش می‌دهد، با بیشترین اثر بر کشاورزی. بخش‌های صنعت و خدمات حساسیت کمتری دارند و کشورهای آسیب‌پذیرتر اقلیمی بیشترین پیامدهای اقتصادی منفی را تجربه می‌کنند. دوگانلار و همکاران (۲۰۲۳) اثر تغییرات اقلیم را بر رشد اقتصادی ۲۰ کشور دارای بیشترین انتشار کربن (۱۹۹۰-۲۰۱۹) با مدل‌های خطی و غیرخطی کاب-داگلاس بررسی کردند. مدل خطی نشان داد دما و بارش اثر معناداری ندارند؛ اما مدل غیرخطی اثر اولیه مثبت و ثانویه منفی دما را تأیید کرد، در حالی‌که بارش همچنان فاقد اثر معنادار است. علیت پانلی نیز رابطه دوطرفه بین دما و رشد را نشان می‌دهد، اما بین بارش و رشد رابطه‌ای وجود ندارد.

**روش شکاف:** مرور پیشینه نشان می‌دهد که با وجود بررسی اثرات اقلیمی بر رشد، سه خلأ اساسی در ادبیات این حوزه وجود دارد: نخست، غلبه نگاه خطی یا فرم‌های ساده غیرخطی (مانند درجه دوم) که پویایی‌های واقعی و اثرات آستانه‌ای دما و بارش را نادیده می‌گیرند. دوم، تمرکز مطالعات بر مناطق خاصی چون هند، چین و آفریقا، و مغفول ماندن کشورهای عضو سازمان همکاری اسلامی (OIC) با وجود ناهمگنی ساختاری و اقلیمی آن‌ها. سوم، نادیده گرفتن عدم قطعیت در انتخاب متغیرها و مدل در روش‌های متداول پانلی و سری‌زمانی.

پژوهش حاضر با به‌کارگیری رویکرد ترکیبی این شکاف را پوشش می‌دهد؛ به‌طوری‌که از میانگین‌گیری بیزین (BMA) برای مدیریت عدم قطعیت در شناسایی محرک‌های رشد و از رگرسیون اسپلاین پانلی برای کشف روابط غیرخطی و قطعه‌ای اقلیم-رشد بدون تحمیل فرم تابعی پیش‌فرض استفاده می‌کند. نوآوری اصلی این مطالعه در ترکیب این دو روش برای تحلیل دقیق‌تر اثرات اقلیمی در کشورهای OIC نهفته است که مبنایی واقع‌بینانه‌تر برای سیاست‌گذاری رژیم‌محور فراهم می‌آورد.

### ۳. روش تحقیق

این پژوهش یک مطالعه اکتشافی است که با داده‌های دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۳ برای ۵۷ کشور عضو سازمان همکاری اسلامی (OIC) انجام شده است. فرآیند تحقیق دو مرحله دارد: (۱) مدل‌سازی با استفاده از رویکردهای میانگین‌گیری مدل برای مدیریت عدم اطمینان و انتخاب متغیرهای مؤثر بر رشد، و (۲) برآورد با بهره‌گیری از رگرسیون اسپلاین پانلی به‌منظور شناسایی روابط غیرخطی. برآوردها با نرم‌افزارهای MATLAB 2024 و R انجام شده و در ادامه، بر پایه مبانی نظری و تجربی، فهرستی جامع از متغیرهای اثرگذار بر رشد اقتصادی ارائه می‌شود.

جدول ۱: لیست متغیرهای مؤثر بر رشد اقتصادی

متغیرها	تعداد	گروه عوامل
---------	-------	------------

عوامل مرتبط با اقتصاد خارجی	۸	صادرات نفتی، صادرات غیرنفتی، واردات کالاها و خدمات غیرسرمایه‌ای، واردات کالاها و خدمات سرمایه‌ای، باز بودن اقتصاد، سرمایه‌گذاری خارجی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، شاخص KOF
عوامل مرتبط با انرژی	۴	صادرات پتروشیمی و شیمیایی، تولید نفت، درآمدهای نفتی، مصرف انرژی
سیاست‌های پولی	۴	میانگین نرخ سود بانکی، شاخص ساختار مالی تأمین مالی از بانک، نقدینگی، پول، شبه پول
عوامل قیمتی	۴	نرخ ارز غیررسمی، نرخ ارز رسمی، تورم بخش مصرف‌کننده، تورم بخش تولیدکننده
حمل‌ونقل زمینی	۴	حجم حمل‌ونقل زمینی، ارزش حمل‌ونقل زمینی، سرمایه انباشته بخش حمل‌ونقل زمینی، سهم حمل‌ونقل‌کننده‌ها از کل مصارف حمل‌ونقل زمینی
حمل‌ونقل هوایی	۴	حجم حمل‌ونقل هوایی، ارزش حمل‌ونقل هوایی، سرمایه انباشته بخش حمل‌ونقل هوایی، سهم هواپیماهای مختلف از کل مصارف حمل‌ونقل هوایی
حمل‌ونقل ریلی	۴	حجم حمل‌ونقل ریلی، ارزش حمل‌ونقل ریلی، سرمایه انباشته بخش حمل‌ونقل ریلی، سهم واگن‌ها و لوکوموتیوهای مختلف از کل مصارف حمل‌ونقل ریلی
حمل‌ونقل دریایی	۴	حجم حمل‌ونقل دریایی محموله، ارزش حمل‌ونقل دریایی محموله، سرمایه انباشته بخش حمل‌ونقل دریایی، سهم تولید شناورهای مختلف دریایی از کل مصارف حمل‌ونقل دریایی
عوامل ارزش افزوده	۴	ارزش افزوده کشاورزی، ارزش افزوده گروه نفت، ارزش افزوده صنایع و معادن، ارزش افزوده بخش خدمات
عوامل سیاسی	۶	تحریم، خصوصی‌سازی، شاخص اقتصاد مقاومتی، حکمرانی خوب، ثبات سیاسی، فساد
سیاست‌های دولت	۶	کسری بودجه، پرداخت‌های انتقالی، مالیات مستقیم، مالیات‌های غیرمستقیم، مخارج جاری دولت، مخارج عمرانی دولت
توسعه مالی	۳	شاخص توسعه مالی، شاخص بازار سرمایه، شاخص ساختار مالی تأمین مالی از بازار سرمایه
شاخص‌های جمعیتی	۱۹	نرخ بیکاری، جمعیت فعال، بی‌سوادان، نسبت افراد دارای تحصیلات عالی، نسبت افراد دارای تحصیلات متوسطه و ابتدایی، نسبت افراد دارای آموزش فنی‌وحرفه‌ای، نسبت جمعیت زنان به مردان، نسبت جمعیت ۳۰ تا ۴۹ سال به کل جمعیت، نسبت جمعیت ۵۰ تا ۶۴ سال به کل جمعیت، نسبت جمعیت متأهل به کل جمعیت، نسبت جمعیت مطلقه به کل جمعیت، نسبت جمعیت بیوه به کل جمعیت، نسبت جمعیت مجرد به کل جمعیت، نسبت جمعیت ۶۵ سال به بالا به کل جمعیت، رشد جمعیت کشور، نسبت اشتغال پاره‌وقت به کل جمعیت فعال، نسبت خوداشتغالی به کل جمعیت فعال، نسبت بازنشستگان به کل جمعیت فعال، نسبت دانش‌آموزان و دانشجویان به کل جمعیت فعال
تغییرات اقلیمی	۴	عملکرد زیست‌محیطی، سطح دما، میانگین بارش، تغییر دما
متغیرهای اقتصادی	۵	نابرابری درآمد، تشکیل سرمایه، مخارج مصرفی بخش خانوار، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، سرمایه‌گذاری بخش دولتی

عوامل فرهنگی	۳	شاخص هافستد، شهرنشینی، نسبت جمعیت اقلیت دینی به کل جمعیت
عوامل اجتماعی	۵	شاخص سرمایه انسانی، امید به زندگی مردان، امید به زندگی زنان، شاخص سرمایه اجتماعی، نرخ رشد جرم/فساد اجتماعی

این جدول مجموعه‌ای جامع از عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی را نشان می‌دهد. گستردگی این متغیرها نشان می‌دهد که رشد اقتصادی پدیده‌ای چندبعدی است و تحت تأثیر هم‌زمان عوامل داخلی و خارجی، ساختاری و نهادی، و همچنین شرایط اقلیمی و زیست‌محیطی قرار دارد. این طبقه‌بندی می‌تواند مبنایی مناسب برای شناسایی متغیرهای اثرگذار و انتخاب مدل مناسب در تحلیل رشد اقتصادی باشد. در ادامه شرح مختصری از رویکردهای میانگین‌گیری بیزین و اسپیلاین ارائه شده است.

جدول ۲: کاربرد مدل‌های پژوهش

بخش	روش	کاربرد
رویکردهای مدلساز	BMA <sup>1</sup>	شناسایی متغیرهای غیرشکننده بر اساس مقایسه توزیع‌های پسین و پیشین (توزیع نرمال)
	TVP-DMA <sup>2</sup>	شناسایی بر اساس میانگین معناداری در بازه‌های زمانی مختلف
	TVP-DMS <sup>3</sup>	شناسایی متغیرهای غیرشکننده بر اساس بالاترین احتمال معناداری در بازه‌های زمانی مختلف
	WALS <sup>4</sup>	شناسایی متغیرهای غیرشکننده بر اساس میانگین ضرایب معناداری در بازه‌های زمانی مختلف
برآوردگر	Spline	مدل‌سازی روابط غیرخطی، آستانه‌ای و قطعه‌ای میان متغیرها، بدون پیش فرض شکل تابعی

#### ۴. برآورد مدل

تحقیق حاضر در سه بخش اصلی ارائه شده است. در بخش اول کاراترین رویکرد مدلساز تعیین شده است. در بخش دوم بر اساس کاراترین رویکرد متغیرهای غیرشکننده مؤثر بر رشد اقتصادی تعیین شد. در بخش سوم بر اساس رگرسیون اسپیلاین به بررسی تأثیر متغیرهای منتخب بر رشد اقتصادی پرداخته شده است.

#### بخش اول: شناسایی کاراترین رویکرد مدل‌سازی رشد اقتصادی

در ابتدای امر لازم است از مین رویکردهای ۴ گانه مدلسازی اقدام به تعیین کاراترین رویکرد جهت شناسایی مهمترین متغیرهای مؤثر بر رشد اقتصادی گردد. برای مقایسه کارایی این رویکردها از

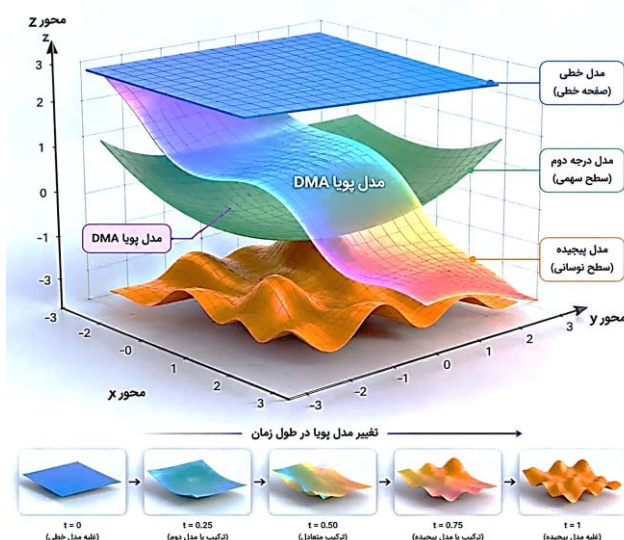
<sup>1</sup> Bayesian Model Averaging

<sup>4</sup> Time-Varying Parameters Dynamic Model Averaging

<sup>3</sup> Time-Varying Parameters Dynamic Model Selection

<sup>4</sup> Weighted-Average Least Squares

پیش‌بینی درون نمونه‌ای بهره گرفته شده است. جهت بررسی تفاوت میان این ۴ روش در ادامه فرآیند مدل‌سازی این چهار روش ارائه شده است.



نمودار ۱: فرآیند برآورد مدل TVP-DMA

در میانگین‌گیری پویا از چندین مدل به صورت همزمان بهره گرفته می‌شود. ضرایب متغیر در طی زمان هستند. نرم‌ترین و منعطف‌ترین ساختار را در میان رویکردهای مورد بررسی دارد. رابطه اقتصادسنجی این مدل به شرح رابطه (۹)، است.

$$\hat{y}_t = \sum_k P(M_k | D_t) \hat{y}_{k,t} \quad (9)$$

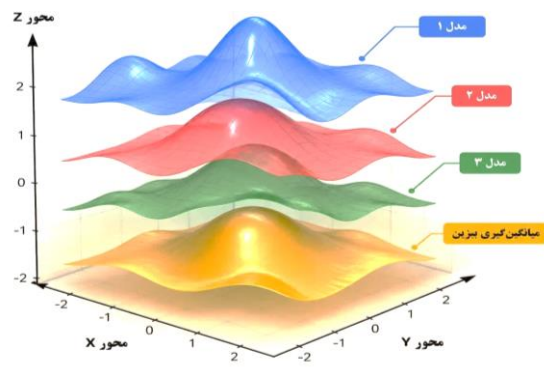
این رابطه می‌گوید پیش‌بینی نهایی  $\hat{y}_t$  در زمان  $t$  برابر با میانگین وزنی پیش‌بینی همه مدل‌ها که وزن هر مدل، احتمال پسین آن مدل با توجه به داده‌های موجود تا زمان  $t$  است. در این مدل‌ها  $\alpha$  نرخ فراموشی مدل‌ها<sup>۱</sup> است.  $\alpha$  تعیین می‌کند احتمال پسین مدل‌ها ( $P(M_k | D_t)$ ) چقدر سریع با داده‌های جدید به‌روزرسانی شوند.  $\alpha$  نزدیک ۱ باشد؛ مدل‌ها به داده‌های گذشته وزن زیادی می‌دهند.

$\lambda$  (لامبدا)؛ نرخ فراموشی پارامترها<sup>۲</sup> است. لامبدا مشخص می‌کند پارامترهای درون هر مدل ( $\beta_t$ ) چقدر در طول زمان تغییر کنند. اگر  $\lambda$  نزدیک ۱ باشد؛ پارامترها تقریباً ثابت فرض می‌شوند (مدل پایدارتر است). کارکرد این پارامتر کنترل شدت پویایی ضرایب در فیلتر کالمن<sup>۳</sup> TVP-DMA است.

<sup>1</sup> Model Forgetting Factor

<sup>2</sup> Parameter Forgetting Factor

<sup>3</sup> Kalman filter

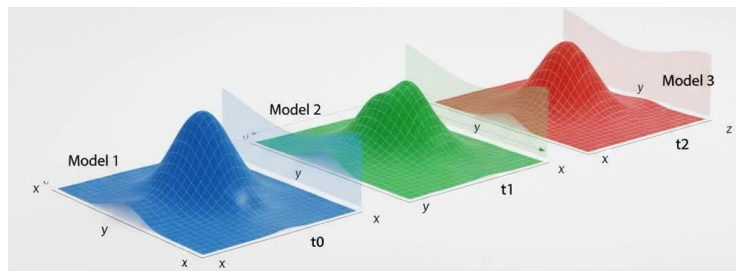


نمودار ۲: فرآیند برآورد مدل BMA

در روش میانگین‌گیری بیزین از مدل‌های با پارامتر ثابت استفاده می‌گردد. پویایی ضرایب در طی زمان وجود ندارد. این مدل مناسب برای روابط نسبتاً پایدار است. رابطه اقتصادسنجی این مدل به شرح رابطه (۱۰)، است.

$$p(y | D) = \sum_{k=1}^K p(y | M_k, D) p(M_k | D) \quad (10)$$

این رابطه بیان می‌دارد پیش‌بینی نهایی متغیر  $y$  برابر با میانگین وزنی پیش‌بینی همه مدل‌های ممکن که وزن هر مدل برابر با احتمال پسین آن مدل با توجه به داده‌ها است

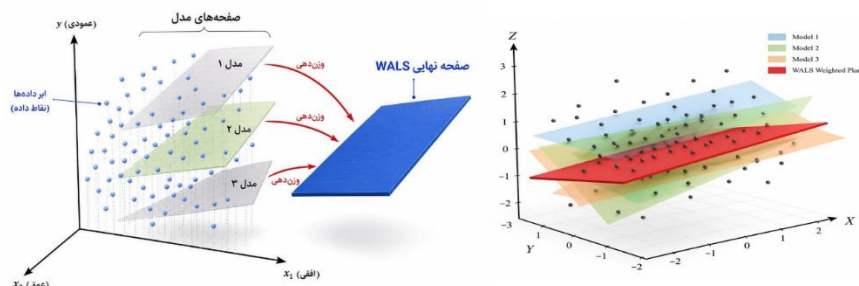


نمودار ۳: فرآیند برآورد مدل TVP-DMS

در میانگین‌گیری پویا از انتخاب یک مدل بهینه در هر مقطع زمانی بهره گرفته می‌شود. ضرایب در طی زمان تغییر می‌کنند. پرس‌های رژیم‌ی در این رویکرد محتمل‌تر است. رابطه اقتصادسنجی این مدل به شرح رابطه (۱۱)، است.

$$M_t = \arg \max_k P(M_k | D_t) \quad (11)$$

این رابطه بیان می‌دارد در زمان  $t$ ، مدلی انتخاب می‌شود که بیش‌ترین احتمال پسین را با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود تا همان زمان داشته باشد.



نمودار ۴: فرآیند برآورد مدل WALS

در این رویکرد، به جای انتخاب یک مدل واحد، تمام ترکیب‌های ممکن از متغیرهای توضیحی در نظر گرفته می‌شوند و ضرایب به صورت میانگین موزون برآوردها محاسبه می‌شوند. رابطه اصلی WALS، که نشان می‌دهد ضرایب نهایی چگونه برآورد می‌شوند، به صورت زیر است:

$$\hat{\beta}_{WALS} = \sum_{m=1}^M w_m \hat{\beta}_m \quad (12)$$

یعنی ضرایب نهایی، میانگین موزون ضرایب مدل‌های مختلف است که بر اساس احتمال هر مدل وزن‌دهی شده‌اند. پس از تفهیم فرآیند روش‌های فوق اقدام به پیش‌بینی درون نمونه‌ای در سه بازه زمانی کوتاه مدت ( $h=1$ )، میان مدت ( $h=4$ ) و بلند مدت ( $h=8$ )، شده است. دوره زمانی آموزش در کوتاه مدت ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۱ و دوره پیش‌بینی شامل سال ۲۰۲۲ می‌باشد. دوره زمانی آموزش در میان مدت ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸ و در دوره پیش‌بینی شامل سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲ می‌باشد. دوره زمانی آموزش در میان مدت ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ و دوره پیش‌بینی شامل سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ می‌باشد. نتایج جدول (۳)، نشان می‌دهد که در هر سه افق پیش‌بینی کوتاه‌مدت ( $h=1$ )، میان مدت ( $h=4$ ) و بلندمدت ( $h=8$ )، مدل BMA بهترین عملکرد پیش‌بینی را دارد؛ به طوری که بالاترین مقدار Log(PL) را این مدل کسب نموده است.

جدول ۳: معیارهای عملکرد پیش‌بینی در افق‌های پیش‌بینی مختلف در حالت پانلی<sup>۱</sup>

پیش‌بینی	h=1 پیش‌بینی در افق کوتاه مدت	h=4 پیش‌بینی در افق میان مدت	h=8 پیش‌بینی در افق بلند مدت
مدل	Log(PL)	Log(PL)	Log(PL)
	141.630	123.218	107.200
	TVP - AR(1) - X DMA( $\alpha = \lambda = 0.99$ )		

<sup>۱</sup> TVP به معنای متغیر بودن ضرایب برآوردی در طی زمان است. AR(1) وقفه اول متغیر رشد اقتصادی است. X- متغیرهای ۷۳ گانه موثر بر رشد اقتصادی است. DMA و DMS و BMA، نماینده رویکردهای بی‌زین هستند. DMA از میانگین‌گیری ضرایب در طی زمان بهره می‌برد. DMS از ضریبی که بزرگ‌ترین احتمال وقوع را دارد؛ چه برآورد مدل بهره می‌برد. BMA از نسبت میانگین ضرایب مطلوب به کل ضرایب برآوردی بهره می‌برد.

118.626	136.352	156.726	$TVP - AR(1) - X \quad DMA(\alpha = \lambda = 0.95)$
121.257	139.376	160.202	$TVP - AR(1) - X \quad DMA(\alpha = \lambda = 0.90)$
108.413	124.613	143.233	$TVP - AR(1) - X \quad DMS(\alpha = \lambda = 0.99)$
125.116	143.811	165.300	$TVP - AR(1) - X \quad DMS(\alpha = \lambda = 0.95)$
155.918	179.217	205.996	$TVP - AR(1) - X \quad DMS(\alpha = \lambda = 0.90)$
103.532	119.002	136.784	$TVP - AR(1) - X \quad DMA(\alpha = 0.99, \lambda = 1)$
110.443	126.946	145.915	$TVP - AR(1) - X \quad DMA(\alpha = 0.95, \lambda = 1)$
170.531	196.013	225.302	$TVP - AR(1) - X \quad BMA(\alpha = \lambda = 1)$

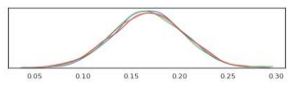
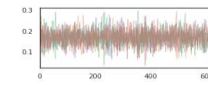
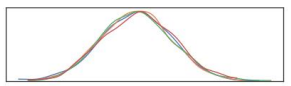
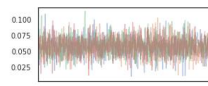
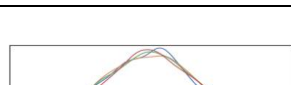

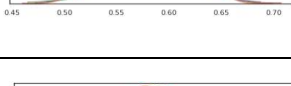

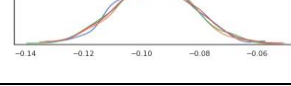
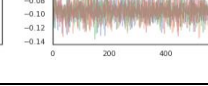
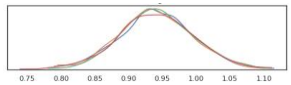
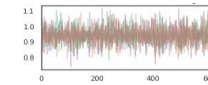
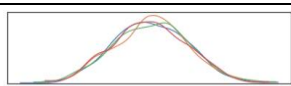
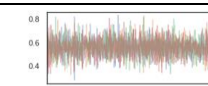
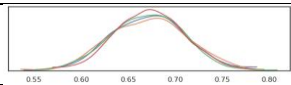
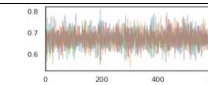
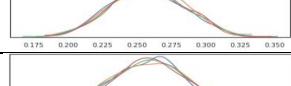
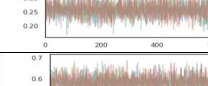
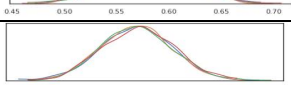
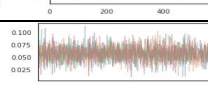
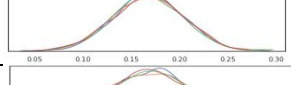
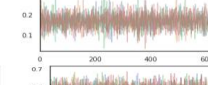
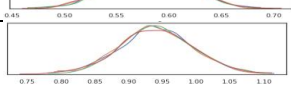
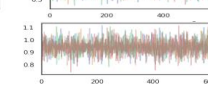


ماخذ: محاسبات محقق

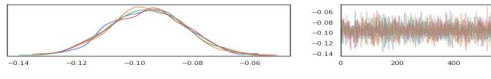
**بخش دوم: شناسایی متغیرهای غیرشکننده موثر بر رشد اقتصادی**

در روش میانگین‌گیری بیزی مدل‌ها (BMA) به‌منظور لحاظ کردن عدم‌اطمینان مدل، تمام مدل‌های ممکن در فضای مدل در نظر گرفته شده و نتایج نهایی بر اساس میانگین وزنی آن‌ها، با وزنهایی برابر با احتمال پسین هر مدل، محاسبه می‌شود. نتایج مهم‌ترین متغیرهای موثر بر رشد اقتصادی کشورهای مورد بررسی در ادامه ارائه شده است.

**جدول ۴: اولویت‌بندی متغیرهای موثر بر رشد اقتصادی در مدل بهینه**

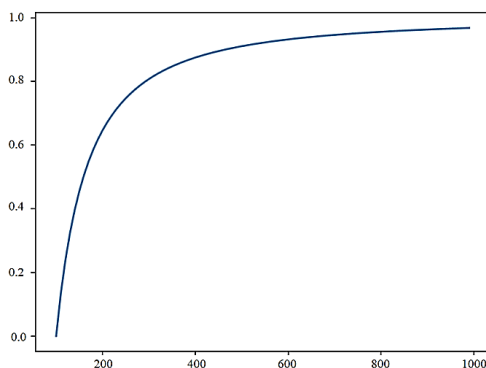
توزیع مشترک	اولویت	نسبت رگرسیون‌ها $\geq 2$ یا $ t - stat $	نمونه شامل ۵ میلیون رگرسیون		متغیر	نماد
			احتمال پسین	ضریب پسین		
	۱	0.975 5	0.94 92	0.327 6	باز بودن اقتصاد	Z1
	۲	0.878 8	0.85 51	0.411 8	صادرات غیر نفتی	Z2
	۳	0.869 4	0.84 59	-0.26	صادرات نفتی	Z3
	۴	0.813 3	0.79 13	0.231 9	شاخص KOF	Z4
	۵	0.811 2	0.78 93	0.199 -7	نقدینگی	Z5
	۶	0.794 6	0.77 31	0.217 -4	نرخ ارز غیر رسمی	Z6

		۷	0.770 6	0.74 98	0.311 -	تورم بخش تولیدک ننده	Z7
		۸	0.756 1	0.73 57	0.170 6	ارزش حمل و نقل زمینی	Z8
		۹	0.749 8	0.72 96	0.240 2	حجم حمل و نقل دریایی محموله (تتاز)	Z9
		۱۰	0.746 7	0.72 65	0.190 3	ارزش حمل و نقل دریایی محموله	Z10
		۱۱	0.741 5	0.72 15	0.240 2	ارزش افزوده صنایع و معادن	Z11
		۱۲	0.734 2	0.71 44	0.238 2	ارزش افزوده بخش خدمات	Z12
		۱۳	0.727	0.70 74	0.267 3	حکمرانی خوب	Z13
		۱۴	0.691 6	0.67 29	0.243 4	ثبات سیاسی	Z14
		۱۵	0.680 2	0.66 18	0.437 -4	فساد	Z15
		۱۶	0.678 1	0.65 98	- 0.114 4	کسری بودجه	Z16
		۱۷	0.676	0.65 77	0.090 -5	نرخ بیکاری	Z17
		۱۸	0.658 3	0.64 05	- 0.104	میانگین بارش	Z18
		۱۹	0.557 3	0.54 23	0.163 -3	تغییر دما	Z19

	۲۰	0.504	0.49	0.143	سرمایه گذاری بخش خص وصی	Z2 0
		2	06	5		

منبع: محاسبات محقق

براساس جدول (۴)، برای کنترل عدم اطمینان در انتخاب مدل از رویکرد BMA و الگوریتم  $MC^3$  استفاده شد و حدود ۵ میلیون رگرسیون برآورد گردید. نتایج نشان داد که باز بودن اقتصاد، صادرات نفتی و غیرنفتی، و شاخص جهانی شدن (KOF) مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی هستند؛ به طوری که متغیر باز بودن اقتصاد با احتمال پسین ۹۷ درصد و ضریب مثبت ۰٫۳۲ در رتبه نخست قرار دارد. همچنین، متغیرهای کلان مانند نقدینگی، نرخ ارز غیررسمی، تورم و بیکاری اثر منفی، و شاخص‌های حکمرانی، ثبات سیاسی و ارزش افزوده بخش‌ها اثر مثبت بر رشد دارند. متغیرهای اقلیمی بارش و تغییر دما نیز با وجود اولویت پایین‌تر، از عوامل اثرگذار شناسایی شدند. پایداری نتایج نیز با معناداری بالای آماره‌های  $t$  برای متغیرهای برتر تأیید می‌شود.



نمودار ۵: میانگین احتمال تجمعی در ۱۰۰۰ مدل برتر

با توجه به نتایج بر اساس ۱۰۰۰ مدل برتر متغیرهای وارد شده در مدل در حدود ۹۶ درصد از تغییرات رشد اقتصادی کشورهای مورد بررسی را توضیح می‌دهد؛ در نتیجه می‌توان بیان داشت ۲۰ متغیر منتخب توضیح دهنده بالایی در این حوزه داشته‌اند.

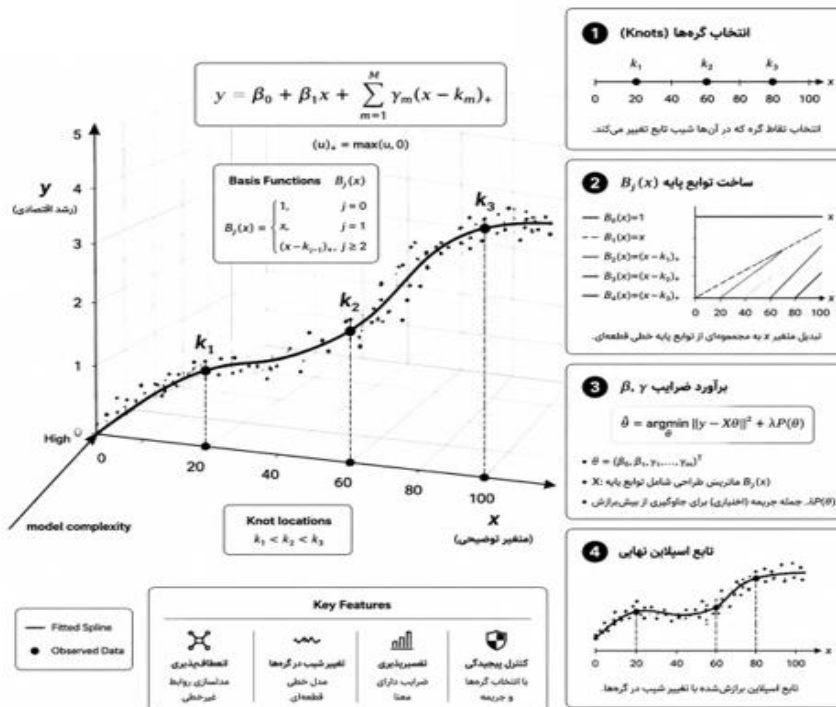
### بخش سوم: بررسی نحوه اثرگذاری متغیرهای غیرشکننده مؤثر بر رشد اقتصادی

در ادامه به بررسی نحوه اثرگذاری متغیرهای منتخب بر رشد اقتصادی براساس رویکرد اسپیلاین پانلی پرداخته شده است. قبل از برآورد مدل لازم است اقدام به بررسی دقت رویکرد پانل اسپیلاین نسبت به پانل ساده و پویا پرداخته شود.

جدول ۵: مقایسه رویکرد اسپیلاین با پانل ساده و پویا

نوع مدل	میزان ضریب تعیین	F شاخص آماره
پانل ساده (اثرات ثابت)	۷۸ درصد	۴/۰۹۵
پانل پویا	۸۲ درصد	۱۱/۴۳۹
پانل اسپیلاین	۹۳ درصد	۲۱/۸۵۷
مقایسه ضریب تعیین مدل F آماره پانل پویا با مدل پانل اسپیلاین	۱۲/۵۱۴ (۰.۰۰۰۰)	بر اساس نتایج تفاوت معناداری میان نتایج پانل اسپیلاین و پانل ساده و پویا وجود داشته و پانل اسپیلاین از دقت بالاتری برخوردار است.
مقایسه ضریب تعیین مدل F آماره پانل ساده با مدل پانل اسپیلاین	۱۸/۹۳۰ (۰.۰۰۰۰)	

بر اساس نتایج جدول (۵)، رویکرد اسپیلاین در مقایسه با روش‌های پانل ساده و پویا از دقت برآورد بالاتری برخوردار است. در این روش، به جای فرض رابطه خطی ثابت، تابع رگرسیونی به صورت قطعه‌ای و هموار در نقاط مشخصی از دامنه متغیر مستقل (گره‌ها) تعریف می‌شود. مدل پایه اسپیلاین به صورت  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \sum_{m=1}^M \gamma_m (x_i - k_m)_+ + \varepsilon_i$  تصریح می‌شود که در آن  $k_m$  نشان‌دهنده گره‌ها و  $(x_i - k_m)_+ = \max(0, x_i - k_m)$  تابع پایه اسپیلاین است. در فرم تعمیم‌یافته، این مدل با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از توابع پایه به صورت  $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \sum_{j=1}^J \beta_j B_j(x_i) + \varepsilon_i$  بازنویسی می‌شود. این ساختار علاوه بر حفظ پیوستگی تابع در نقاط گره، با انعطاف‌پذیری بالا امکان مدل‌سازی هموار تغییرات شیب رفتار متغیرها را در بازه‌های مختلف فراهم می‌کند.



نمودار ۶: فرآیند رگرسیون اسپلاین

برای تعیین تعداد بهینه گره‌ها در مدل رگرسیون اسپلاین، سه الگوی جایگزین شامل مدل‌های دارای یک، دو و سه گره برآورد و از نظر شاخص‌های برازش با یکدیگر مقایسه شدند.

جدول ۶: مقایسه مدل‌های اسپلاین با تعداد گره‌های مختلف

نتیجه	آزمون JB	R <sup>2</sup>	آماره F	BIC	AIC	تعداد گره‌ها	الگوی اسپلاین
برازش قابل قبول	۲۹/۵۵۵ (۰/۰۰۰)	۰/۳۳۰۱	۷/۸۲۴ (۰/۰۰۰)	۶/۱۱	۵/۸۲	۱ گره	مدل اول
برازش بهتر	۵۴/۶۷۹ (۰/۰۰۰)	۰/۴۵۷۳	۹/۳۰۹ (۰/۰۰۰)	۵/۰۳	۴/۶۷	۲ گره	مدل دوم
مدل منتخب	۱۱۲/۶۴۳ (۰/۰۰۰)	۰/۶۵۴۳	۱۲/۴۱۵ (۰/۰۰۰)	۴/۴۲	۳/۹۵	۳ گره	مدل سوم

در جدول (۶)، ضرایب، ستون‌های گره اول، گره دوم و گره سوم در واقع نتایج مدل منتخب اسپلاین با سه گره را نشان می‌دهند؛ همچنین در جدول مقایسه تعداد گره‌ها مشخص می‌شود که با افزایش تعداد گره‌ها از یک به سه، مقدار آماره F از ۷/۸۲۴ به ۱۲/۴۱۵ افزایش یافته و مقدار R<sup>2</sup> نیز از

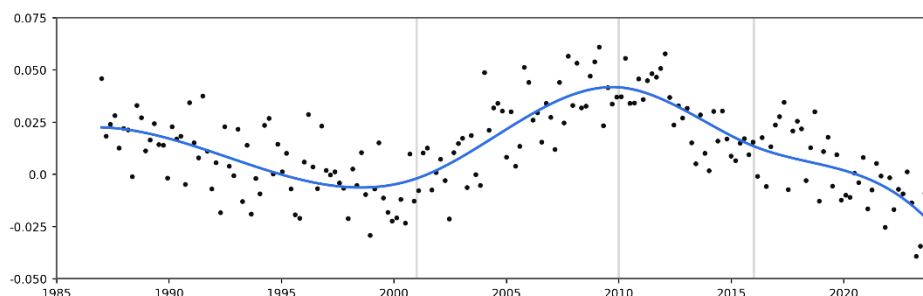
۰/۳۳۰۱ به ۰/۶۵۴۳ رسیده است. این روند نشان می‌دهد که افزودن گره‌ها موجب افزایش قدرت توضیح‌دهندگی مدل شده و مدل سه‌گره‌ای نسبت به مدل‌های یک‌گره‌ای و دوگره‌ای عملکرد بهتری دارد. کاهش مقدار معیارهای اطلاعاتی AIC و BIC در مدل سه‌گره‌ای نشان می‌دهد که این مدل نسبت به سایر الگوها از برازش بهتری برخوردار است.

به منظور بررسی وجود رابطه غیرخطی میان متغیرهای توضیحی و رشد اقتصادی، آزمون والد<sup>۱</sup> برای ضرایب جملات اسپلاین اجرا شد.

جدول ۷: مقایسه شاخص‌های برازش مدل‌های رگرسیون اسپلاین با گره‌های مختلف

آزمون غیرخطی بودن	آماره آزمون	سطح احتمال	نتیجه
آزمون والد برای جملات اسپلاین	۱۴/۳۷۲	(۰/۰۰۰)	تأیید وجود رابطه غیرخطی

به منظور بررسی وجود رابطه غیرخطی میان متغیرهای توضیحی و رشد اقتصادی، آزمون والد برای ضرایب جملات اسپلاین اجرا شد. نتایج نشان داد آماره آزمون در سطح یک درصد معنادار بوده و فرض خطی بودن رابطه رد می‌شود. بنابراین استفاده از الگوی اسپلاین نسبت به مدل خطی از قدرت توضیح‌دهندگی بالاتری برخوردار است. برازش الگو در مدل اسپلاین برای سه گره منتخب به شرح نمودار (۷)، است:



نمودار ۷: برآورد اسپلاین مدل رشد اقتصادی بین کشورهای مورد بررسی

نمودار (۷) روند رشد اقتصادی را در دوره حدوداً ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۴ بر اساس اسپلاین سه‌گره‌ای نشان می‌دهد. نقاط سیاه بیانگر مقادیر مشاهده‌شده و منحنی آبی مسیر هموارشده رشد اقتصادی است. سه گره اصلی در حدود سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ قرار دارند و نشان‌دهنده تغییر در شیب و رفتار رشد اقتصادی هستند. نتایج نمودار بیان می‌کند که رشد اقتصادی در کل دوره خطی و یکنواخت نبوده، بلکه ابتدا تا حدود سال ۲۰۰۱ روندی نزولی داشته، سپس در فاصله ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ وارد

<sup>1</sup> Wald Test

مرحله بهبود و افزایش شده، پس از ۲۰۱۰ کاهش ملایمی را تجربه کرده و بعد از ۲۰۱۶ با افت شدیدتر و ناپایدارتر مواجه شده است. بنابراین، نمودار از انتخاب مدل اسپلین سه‌گه‌ای حمایت می‌کند؛ زیرا این مدل توانسته نقاط چرخش و تغییرات رژیمی رشد اقتصادی را به‌خوبی شناسایی کند.

جدول ۸: نتایج برآورد مدل رگرسیون اسپلین سه‌گه‌ای رشد اقتصادی

نام متغیر	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم
باز بودن اقتصاد	۰/۱۶۵ (۰/۰۰۰)***	۰/۲۴۱ (۰/۰۰۰)***	۰/۲۰۱ (۰/۰۰۰)***
صادرات غیر نفتی	۰/۰۲۶ (۰/۰۴۱)**	۰/۰۷۴ (۰/۰۳۵)**	۰/۰۴۵ (۰/۰۳۷)**
صادرات نفتی	۰/۱۵۶ (۰/۰۵۲)*	۰/۲۱۷ (۰/۰۳۲)**	۰/۲۰۹ (۰/۰۴۱)**
KOF شاخص	۰/۳۰۵ (۰/۰۴۷)**	۰/۳۶۱ (۰/۰۱۴)**	۰/۳۱۷ (۰/۰۱۱)**
نقدینگی	-۰/۲۰۹ (۰/۰۵۹)*	-۰/۲۲۷ (۰/۰۳۶)**	-۰/۲۶۵ (۰/۰۲۷)**
نرخ ارز غیر رسمی	-۰/۳۲۴ (۰/۰۲۱)**	-۰/۴۱۳ (۰/۰۰۰)***	-۰/۳۶۹ (۰/۰۱۸)**
تورم بخش تولید کننده	-۰/۱۱۷ (۰/۰۰۰)***	-۰/۱۶۷ (۰/۰۰۰)***	-۰/۱۴۵ (۰/۰۰۰)***
ارزش حمل و نقل زمینی	۰/۰۴۱ (۰/۰۳۶)**	۰/۰۹۴ (۰/۰۲۱)**	۰/۰۷۸ (۰/۰۳۰)**
حجم حمل و نقل دریایی محموله	۰/۱۶۷ (۰/۰۴۵)*	۰/۲۴۳ (۰/۰۴۱)**	۰/۲۳۱ (۰/۰۳۶)**
ارزش حمل و نقل دریایی محموله	۰/۱۳۴ (۰/۰۱۵)**	۰/۲۸۷ (۰/۰۰۰)***	۰/۱۵۶ (۰/۰۰۷)***
ارزش افزوده صنایع و معادن	۰/۱۶۷ (۰/۱۶۴)	۰/۲۸۳ (۰/۰۷۴)*	۰/۲۰۲ (۰/۰۱۴)**
ارزش افزوده بخش خدمات	۰/۲۰۱ (۰/۰۵۴)*	۰/۲۶۷ (۰/۰۳۷)**	۰/۲۱۹ (۰/۰۳۱)**
حکمرانی خوب	۰/۲۱۳ (۰/۰۰۰)***	۰/۲۵۶ (۰/۰۰۰)***	۰/۲۲۴ (۰/۰۰۰)***
ثبات سیاسی	۰/۰۶۸ (۰/۰۱۶)**	۰/۱۳۵ (۰/۰۱۱)**	۰/۱۰۹ (۰/۰۲۵)**
فساد	-۰/۲۵۱ (۰/۰۳۶)**	-۰/۱۸۷ (۰/۰۱۰)**	-۰/۲۶۱ (۰/۰۲۵)**

-۰/۳۹۹ (۰/۰۰۰)***	-۰/۳۴۱ (۰/۰۰۰)***	-۰/۳۱۸ (۰/۰۰۶)***	کسری بودجه
-۰/۳۸۹ (۰/۰۰۶)***	-۰/۳۴۱ (۰/۰۴۸)**	-۰/۳۱۷ (۰/۰۲۵)**	نرخ بیکاری
-۰/۳۴۳ (۰/۰۴۱)*	-۰/۳۳۱ (۰/۰۳۶)**	-۰/۱۶۷ (۰/۰۴۵)*	میانگین بارش
-۰/۳۸۷ (۰/۰۰۰)***	-۰/۱۵۶ (۰/۰۰۷)***	-۰/۱۳۴ (۰/۰۱۵)**	تغییر دما
۰/۲۰۲ (۰/۰۱۴)**	۰/۲۸۳ (۰/۰۷۴)*	۰/۱۶۷ (۰/۱۶۴)	سرمایه گذاری بخش خصوصی
۱۲/۱۴۵	۹/۳۰۹	۷/۸۲۴	f آماره
(۰/۰۰۰)***	(۰/۰۰۰)***	(۰/۰۰۰)***	سطح احتمال
۰/۶۵۴۳	۰/۴۵۷۳	۰/۳۳۰۱	R2
۱۱۲/۶۴۳	۵۴/۶۷۹	۲۹/۵۵۵	JB test
(۰/۰۰۰)***	(۰/۰۰۰)***	(۰/۰۰۰)***	سطح احتمال

\*\*\* معناداری کامل در سطح ۱ درصد، \*\* معناداری در سطح ۵ درصد، \* معناداری در سطح ۱۰ درصد

نتایج اسپلین برای ۵۷ کشور عضو سازمان همکاری اسلامی نشان می‌دهد که رابطه میان متغیرهای اقتصادی، نهادی، تجاری، زیرساختی و اقلیمی با رشد اقتصادی خطی و یکنواخت نیست و شدت اثرگذاری آن‌ها در سه گره تغییر می‌کند. در گره اول اثر عوامل مثبت وجود دارد اما نسبتاً ضعیف‌تر است؛ در گره دوم تقریباً همه متغیرهای محرک رشد شامل باز بودن اقتصاد، صادرات نفتی و غیرنفتی، شاخص جهانی شدن KOF، زیرساخت حمل‌ونقل زمینی و دریایی، ارزش افزوده خدمات و صنعت، حکمرانی خوب، ثبات سیاسی و سرمایه‌گذاری خصوصی بیشترین شدت اثرگذاری را نشان می‌دهند. در گره سوم این اثرات مثبت کاهش یافته و همزمان شدت اثر عوامل منفی مانند نقدینگی، نرخ ارز غیررسمی، تورم تولیدکننده، فساد، کسری بودجه، بیکاری، بارش و تغییر دما تقویت می‌شود. در مجموع، رشد اقتصادی کشورهای OIC حاصل ترکیب هم‌زمان محرک‌های تجاری، نهادی، زیرساختی و تولیدی از یک‌سو و محدودیت‌های کلان، مالی، بازار کار و اقلیمی از سوی دیگر است و طراحی سیاست‌های رشد باید متناسب با رژیم‌های مختلف اقتصادی صورت گیرد. مدل برآوردی در این پژوهش بر اساس رگرسیون اسپلین پانلی طراحی شده است تا امکان بررسی تغییرات ساختاری در رابطه میان متغیرهای توضیحی و رشد اقتصادی در طول زمان فراهم شود. در این چارچوب، تابع رشد اقتصادی به صورت یک مدل پانلی با اثرات ثابت کشوری و زمانی تعریف می‌شود که در آن ضرایب متغیرها در رژیم‌های مختلف زمانی می‌توانند تغییر کنند. ساختار کلی مدل به صورت زیر قابل بیان است:

$$Growth_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \sum_{j=1}^{20} \beta_{jr} X_{jit} + \varepsilon_{it}$$

که در آن  $Growth_{it}$  نرخ رشد اقتصادی کشور  $t$  در زمان  $t$  است،  $X_{jit}$  مجموعه متغیرهای توضیحی شامل شاخص‌های تجاری، نهادی، مالی، حمل‌ونقل، زیست‌محیطی و سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد،  $\alpha_i$  اثرات ثابت کشوری و  $\lambda_t$  اثرات زمانی مشترک میان کشورها را بیان می‌کند و  $\varepsilon_{it}$  جمله اخلاص تصادفی مدل است. شاخص  $\lambda_t$  نیز بیانگر رژیم زمانی متناظر با گره‌های اسپلاین است که در این پژوهش سه رژیم متمایز را شامل می‌شود. بر اساس نتایج برآورد مدل، در رژیم اول که مربوط به دوره ابتدایی مطالعه است، رابطه رشد اقتصادی با متغیرهای توضیحی به صورت زیر قابل بیان است:

$$\begin{aligned} Growth_{it}^{(1)} = & \alpha_i + \lambda_t + 0.165(Open) + 0.026(NonOilExp) + 0.156(OilExp) \\ & + 0.305(KOF) - 0.209(Liquidity) - 0.324(ExRate) \\ & - 0.117(PPI) + 0.041(LandTrans) + 0.167(SeaVol) \\ & + 0.134(SeaVal) + 0.167(IndValue) + 0.201(ServValue) \\ & + 0.213(Gov) + 0.068(PolStab) - 0.251(Corr) \\ & - 0.218(Budget) - 0.217(Unemp) - 0.167(Rain) \\ & - 0.134(Temp) + 0.167(PrivInv) + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

در رژیم دوم که میان دو نقطه گره‌ای قرار دارد، ضرایب متغیرها تغییر کرده و رابطه رشد اقتصادی به صورت زیر بازتعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} Growth_{it}^{(2)} = & \alpha_i + \lambda_t + 0.241(Open) + 0.074(NonOilExp) + 0.217(OilExp) \\ & + 0.361(KOF) - 0.227(Liquidity) - 0.413(ExRate) \\ & - 0.167(PPI) + 0.094(LandTrans) + 0.243(SeaVol) \\ & + 0.287(SeaVal) + 0.283(IndValue) + 0.267(ServValue) \\ & + 0.256(Gov) + 0.135(PolStab) - 0.187(Corr) \\ & - 0.241(Budget) - 0.241(Unemp) - 0.231(Rain) \\ & - 0.156(Temp) + 0.283(PrivInv) + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

در نهایت، در رژیم سوم که پس از عبور از گره دوم تا پایان دوره زمانی ادامه دارد، معادله رشد اقتصادی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} Growth_{it}^{(3)} = & \alpha_i + \lambda_t + 0.201(Open) + 0.045(NonOilExp) + 0.209(OilExp) \\ & + 0.317(KOF) - 0.265(Liquidity) - 0.369(ExRate) \\ & - 0.145(PPI) + 0.078(LandTrans) + 0.231(SeaVol) \\ & + 0.156(SeaVal) + 0.202(IndValue) + 0.219(ServValue) \\ & + 0.224(Gov) + 0.109(PolStab) - 0.261(Corr) \\ & - 0.299(Budget) - 0.289(Unemp) - 0.243(Rain) \\ & - 0.287(Temp) + 0.202(PrivInv) + \varepsilon_{it} \end{aligned}$$

معادلات مذکور، ساختار رژیم‌مند مدل اسپلاین پانلی را نشان می‌دهند که بر اساس آن، با عبور اقتصاد کشورهای عضو OIC از نقاط گره‌ای (تغییرات ساختاری)، شدت و جهت اثرگذاری متغیرهای

تجاری، کلان و نهادی بر رشد اقتصادی دستخوش تغییر می‌شود. این پویایی، ضرورت به‌کارگیری رویکرد اسپلین را برای تحلیل رژیم‌های زمانی مختلف تأیید می‌کند. در نهایت، به‌منظور اطمینان از صحت برآوردها و ثبات ساختاری پارامترها برای سیاست‌گذاری، آزمون‌های ثبات پارامتر هانسن ( $L_c$ )، شکست ساختاری سوپ-والد اندروز و آزمون‌های تفاضل تجمعی پسماندها (CUSUM و CUSUMSQ)، بر روی مدل منتخب اجرا شدند.

جدول ۹: نتایج آزمون‌های ثبات ساختاری پارامترها در مدل اسپلین سه‌گروه‌ای

نوع آزمون ثبات	آماره آزمون	مقدار بحرانی (سطح ۵٪)	سطح احتمال	نتیجه آزمون
آزمون هانسن ( $L_c$ )	1.142	1.350	0.231	عدم رد فرضیه صفر (ثبات پارامترها)
آزمون سوپ-والد <sup>۱</sup> اندروز	8.451	12.520	0.187	عدم رد فرضیه صفر (بدون شکست ساختاری)
آزمون CUSUM	0.412	0.948	درون باند ۵ درصد	تأیید ثبات ساختاری مدل
آزمون CUSUMSQ	0.185	0.224	درون باند ۵ درصد	تأیید ثبات ساختاری واریانس پسماندها

طبق یافته‌های جدول (۶)، مقدار آماره آزمون هانسن ( $L_c$ ) برابر با ۱/۱۴۲ برآورد شده است که از مقدار بحرانی جدول در سطح ۵ درصد (معادل ۱/۳۵) کوچک‌تر بوده و سطح احتمال آن نیز برابر با ۰/۲۳۱ می‌باشد. این نتیجه بیانگر عدم رد فرضیه صفر مبنی بر ثبات پارامترهای مدل در طول زمان است. افزون بر این، آماره آزمون سوپ-والد اندروز برابر با ۸/۴۵۱ به دست آمده است که با توجه به سطح احتمال ۰/۱۸۷ (بزرگتر از ۰/۰۵)، وجود هرگونه شکست ساختاری ناخواسته و سیستماتیک در مدل برآوردی رد می‌شود؛ این امر نشان می‌دهد که مدل اسپلین سه‌گروه‌ای به خوبی توانسته است نقاط چرخش و غیرخطی بودن ساختار اقتصادی کشورها را پوشش دهد و پسماندها را پایدار سازد. در نهایت، نتایج آزمون‌های CUSUM و CUSUMSQ نیز نشان دادند که آماره‌های تفاضل تجمعی پسماندهای بازگشتی به طور کامل در داخل مرزهای بحرانی متقارن در سطح خطای ۵ درصد قرار گرفته‌اند. قرار گرفتن این آماره‌ها در باند مجاز، حاکی از ثبات ساختاری ضرایب رگرسیون و پایدار بودن واریانس جملات اخلال در طول دوره پژوهش است. در مجموع، برآیند آزمون‌های ثبات

<sup>۱</sup> Sup-Wald

ساختاری نشان می‌دهد که مدل اسپلین برآورد شده از پایایی ساختاری بالایی برخوردار بوده و ضرایب به دست آمده برای گره‌های اول تا سوم، فرضیات پژوهش را به شکلی معتبر و بدون سوگیری‌های ناشی از ناپایداری پارامترها تأیید می‌کنند.

### ۵. جمع‌بندی و پیشنهادات سیاستی

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد رشد اقتصادی در کشورهای عضو سازمان همکاری اسلامی پدیده‌ای چندبعدی، غیرخطی و وابسته به رژیم‌های زمانی مختلف است و مدل‌های خطی ساده توان توضیح کامل آن را ندارند. نتایج مقایسه روش‌ها نشان داد که میانگین‌گیری بیزین مدل‌ها (BMA) به دلیل لحاظ کردن عدم‌اطمینان مدل، ابزار مناسبی برای شناسایی عوامل غیرشکننده رشد است. بر این اساس، ۲۰ متغیر کلیدی در حوزه‌های تجارت، جهانی‌شدن، ثبات اقتصاد کلان، زیرساخت، ساختار تولید، کیفیت نهادی، بازار کار، سرمایه‌گذاری خصوصی و اقلیم شناسایی شد که در میان آن‌ها باز بودن اقتصاد، صادرات غیرنفتی، صادرات نفتی و شاخص KOF بیشترین احتمال پسین را داشته و مهم‌ترین محرک‌های رشد بودند.

در مرحله برآورد، نتایج رگرسیون اسپلین پانلی نشان داد اثر متغیرها بر رشد در طول زمان ثابت نیست و در سه گره اصلی تغییر می‌کند. مقایسه اسپلین با پانل ساده و پویا و نیز مقایسه مدل‌های یک‌گره‌ای، دوگره‌ای و سه‌گره‌ای نشان داد که الگوی سه‌گره‌ای از نظر معیارهای برازش، بهترین عملکرد را دارد و آزمون والد نیز وجود رابطه غیرخطی را تأیید می‌کند. ضرایب مدل نشان می‌دهد متغیرهای تجاری، جهانی‌شدن، حمل‌ونقل، حکمرانی خوب، ثبات سیاسی، ارزش افزوده بخش‌های تولیدی و خدماتی و سرمایه‌گذاری خصوصی عمدتاً اثر مثبت دارند؛ در حالی که نقدینگی، نرخ ارز غیررسمی، تورم تولیدکننده، فساد، کسری بودجه، بیکاری و متغیرهای اقلیمی اثر منفی بر رشد می‌گذارند.

همچنین، بسیاری از عوامل رشدزا در گره دوم بیشترین اثر مثبت را دارند، اما در گره سوم تضعیف می‌شوند؛ در مقابل، اثر منفی متغیرهایی مانند نقدینگی، کسری بودجه، بیکاری و تغییر دما در گره سوم شدت می‌گیرد. از منظر اقلیمی، اگرچه بارش و تغییر دما در رتبه‌بندی BMA نسبت به عوامل تجاری و نهادی جایگاه پایین‌تری دارند، اما در مدل اسپلین اثر منفی و معنادار آن‌ها تأیید می‌شود و شدت این اثر در طول زمان افزایش می‌یابد. بنابراین، سیاست‌گذاری رشد در کشورهای OIC باید ترکیبی و رژیم‌محور باشد؛ یعنی هم بر توسعه تجارت، صادرات، زیرساخت، حکمرانی و سرمایه‌گذاری خصوصی تأکید کند و هم کنترل بی‌ثباتی‌های کلان، فساد، بیکاری و سازگاری با تغییرات اقلیمی را در اولویت قرار دهد. بر اساس نتایج تحقیق پیشنهادات زیر قابل ارائه است.

– با توجه به نتایج پژوهش، به‌ویژه نقش محوری باز بودن اقتصاد، صادرات نفتی و غیرنفتی و شاخص جهانی شدن KOF در روش BMA و نیز تأیید رابطه غیرخطی و رژیم‌محور میان متغیرهای توضیحی و رشد اقتصادی در مدل اسپیلاین پانلی، سیاست‌گذاری رشد در کشورهای عضو OIC باید از رویکردهای کلی، خطی و یکسان فاصله گرفته و به سمت سیاست‌های ترکیبی، مرحله‌ای و متناسب با شرایط ساختاری و اقلیمی هر کشور حرکت کند. از آنجا که در دوره‌های متأخر، اثر منفی عواملی مانند تغییرات دما، بیکاری، کسری بودجه، نقدینگی و بی‌ثباتی‌های کلان تشدید شده است، سیاست‌های رشد باید هم‌زمان بر تقویت محرک‌های رشد و کاهش آسیب‌پذیری نسبت به شوک‌های اقلیمی و اقتصاد کلان متمرکز باشند.

– بر این اساس، نخستین جهت‌گیری سیاستی باید پیوند دادن راهبردهای رشد با سیاست‌های سازگاری اقلیمی باشد. تشدید اثر منفی دما در گره‌های متأخر نشان می‌دهد که سازوکارهای سنتی انطباق دیگر کافی نیستند؛ بنابراین، لازم است برای بخش‌های مختلف اقتصادی برنامه‌های سازگاری جداگانه طراحی شود. در بخش کشاورزی، توسعه کشاورزی هوشمند، استفاده از ارقام مقاوم به گرما و خشکی، اصلاح الگوی کشت، گسترش آبیاری نوین و افزایش بهره‌وری آب ضروری است. در دامپروری نیز بهبود نژاد، تغذیه، خدمات دامپزشکی و سامانه‌های خنک‌کننده می‌تواند از افت بهره‌وری ناشی از تنش حرارتی جلوگیری کند.

– در بخش صنعت، نوسازی ماشین‌آلات، استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف، بازیافت آب، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استقرار نظام‌های مدیریت ریسک اقلیمی باید در اولویت قرار گیرد. در بخش خدمات نیز، به‌ویژه در گردشگری، حمل‌ونقل و خدمات شهری، سازگار کردن ساعات و الگوهای فعالیت با شرایط دمایی، توسعه خدمات دیجیتال و طراحی فضاهای سازگار با گرما می‌تواند از افت بهره‌وری و تقاضا در دوره‌های نامساعد آب‌وهوایی بکاهد.

– از سوی دیگر، چون نتایج BMA نشان داد متغیرهای تجاری و جهانی شدن از مهم‌ترین محرک‌های رشد هستند، سیاست تجاری کشورهای عضو OIC باید با تاب‌آوری اقلیمی پیوند بخورد. توسعه صادرات غیرنفتی، افزایش باز بودن اقتصاد و مشارکت در زنجیره‌های ارزش جهانی باید به سمت کالاها و خدمات کم‌آب‌بر، دانش‌بنیان، سبز و با ارزش افزوده بالاتر هدایت شود. همچنین کاهش تعرفه واردات تجهیزات بهره‌ور، فناوری‌های مدیریت آب، انرژی‌های تجدیدپذیر و ماشین‌آلات سبز می‌تواند هم‌زمان بهره‌وری و تاب‌آوری اقتصادی را تقویت کند.

– نتایج پژوهش همچنین نشان داد که نقدینگی، تورم، نرخ ارز غیررسمی، کسری بودجه و بیکاری اثر منفی بر رشد دارند؛ از این‌رو، موفقیت سیاست‌های سازگاری اقلیمی بدون ثبات اقتصاد کلان امکان‌پذیر نیست. کنترل رشد نقدینگی، مهار تورم، مدیریت بازار ارز، کاهش کسری بودجه و اصلاح یارانه‌های غیرهدفمند

انرژی و آب از پیش‌شرط‌های مهم رشد پایدار هستند. هدایت منابع حاصل از این اصلاحات به سمت زیرساخت‌های مقاوم، بیمه‌های اقلیمی، صندوق‌های تاب‌آوری و حمایت از بنگاه‌های کوچک و متوسط نیز می‌تواند ظرفیت انطباق را افزایش دهد.

- در حوزه زیرساخت و حکمرانی نیز لازم است استانداردهای طراحی و نگهداری بنادر، جاده‌ها، خطوط ریلی، شبکه‌های انرژی و آب، سدها و مراکز لجستیکی با ریسک‌های اقلیمی جدید سازگار شوند. سرمایه‌گذاری در سامانه‌های هشدار سریع، ذخیره‌سازی و بازچرخانی آب، مدیریت سیلاب و کاهش هدررفت شبکه‌ها به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک OIC اهمیت بالایی دارد. همچنین، با توجه به اثر مثبت حکمرانی خوب، ثبات سیاسی و کیفیت نهادی، موفقیت این سیاست‌ها مستلزم شفافیت، کاهش فساد، نظارت بر منابع اقلیمی و مشارکت بخش خصوصی و جوامع محلی است.

- در نهایت، تأمین مالی این راهبردها باید از مسیرهای متنوعی مانند اوراق سبز، صندوق‌های اقلیمی منطقه‌ای، سرمایه‌گذاری مشترک با بخش خصوصی، اعتبارات بانکی هدفمند، بیمه‌های اقلیمی و منابع مالی بین‌المللی انجام شود. در کنار آن، توسعه آموزش‌های مهارتی سبز و بازآموزی نیروی کار در حوزه‌هایی مانند مدیریت آب، انرژی‌های تجدیدپذیر، کشاورزی هوشمند و فناوری‌های اقلیمی ضروری است. در مجموع، پیشنهاد اصلی پژوهش آن است که کشورهای عضو OIC، رشد اقتصادی را نه صرفاً به‌معنای افزایش تولید، بلکه به‌عنوان راهبردی یکپارچه، باز، نهادمند، کم‌ریسک و اقلیم‌تاب‌آور دنبال کنند.

در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد از رویکردهای همدوسی موجه جهت شناسایی رابطه علی بین دما و بارش و رشد اقتصادی در بازه‌های زمانی مختلف پرداخته شود.

محدودیت این مقاله این است که این پژوهش تنها تأثیر کلی آب و هوا بر رشد اقتصادی را از دیدگاه کلان مورد مطالعه قرار می‌دهد. در واقع با توجه به حساسیت متفاوت بخش‌های مختلف صنعتی به تغییرات آب و هوایی، تأثیر اقتصادی آب و هوا نیز با تغییر ساختار صنعتی تغییر خواهد کرد. این مقاله تأثیر جبران‌کننده رفتار انطباقی را بر تأثیر اقتصادی آب و هوا، که اغلب نقش مهمی ایفاء می‌کند، در نظر نمی‌گیرد.

## References

- Abbasi, G., Karimzadeh, M., Esmail Pour, M, H., (2024). The Effects of Climate Change and Technology Improvements on Economic Growth in Selected Developing Countries. *Journal of Novel Explorations in Computational Science and Behavioral Management*, Volume:3 Issue: 1, Spring-Summer 2025. (In Persian)  
<https://www.doi.org/10.22034/necsbm.2024.475968.1079>
- Azari, L., Naji Meidani, Aliakbar. & Salehnia, N. (2024). Investigating the Effect of Climate Change on the Growth of the Gross Domestic Product of Iran's Provinces in

- Different Periods of Time. Quarterly Journal of Applied Economics Studies in Iran, Volume:13, Issue: 52, 2024. (In Persian).  
<https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29480.3701>
- Azari, L., Naji Meidani, Aliakbar. & Salehnia, N. (2024). Predicting the Impact of Climate Conditions on the Economic Production of Iranian Provinces with The Approach of Random Forest Algorithm. Applied Theories of Economics, Vol. 11, No. 2, Summer 2024. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/eco.j.2024.60935.3292>
- Barrios, S., Bertinelli, L., & Strobl, E. (2010). Trends in rainfall and economic growth in Africa: A neglected cause of the African growth tragedy. Review of Economics and Statistics, 92(2), 350-366. <https://doi.org/10.1162/rest.2010.11212>
- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. Nature, 527, 235-239. <https://doi.org/10.1038/nature15725>
- Cai, X., Lu, Y., & Wang, J. (2018). The impact of temperature on manufacturing worker productivity: Evidence from personnel data. Journal of Comparative Economics, 46, 889-905. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2018.03.001>
- Chamma, D. D. (2024). Climate change and economic growth in sub-Saharan Africa: An empirical analysis of aggregate- and sector-level growth. Journal of Social and Economic Development. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s40847-024-00377-x>
- Chang, J. J., Mi, Z., & Wei, Y. M. (2023). Temperature and GDP: A review of climate econometrics analysis. Structural Change and Economic Dynamics, 66, 383-392. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.05.009>
- Chang, J. J., Wei, Y. M., Yuan, X. C., Liao, H., & Yu, B. Y. (2020). The nonlinear impacts of global warming on regional economic production: An empirical analysis from China. Weather, Climate, and Society, 12, 759-769. [https://doi.org/10.1175/WCAS-D-20-0029\\_1](https://doi.org/10.1175/WCAS-D-20-0029_1)
- Chen, X., & Yang, L. (2019). Temperature and industrial output: Firm-level evidence from China. Journal of Environmental Economics and Management, 95, 257-274. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.07.009>
- Cui, X., & Tang, Q. (2024). Extreme heat and rural household adaptation: Evidence from Northeast China. Journal of Development Economics, 167, 103243. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103243>
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2009). Temperature and income: Reconciling new cross-section and panel estimates. American Economic Review, 99(2), 198-204. <https://doi.org/10.1257/aer.99.2.198>
- Dell, M. L., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century. American Economic Journal: Macroeconomics, 4(3), 66-95. <https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66>
- Deryugina, T., & Hsiang, S. M. (2014). Does the environment still matter? Daily temperature and income in the United States. National Bureau of Economic Research, Working Paper 20750. <https://doi.org/10.3386/w20750>
- Doğanlar, M., Mike, F., & Kızılkaya, O. (2022). The impact of climate change on aggregate output in middle- and high-income countries. Australian Economic Papers, 61(1), 72-86. <https://doi.org/10.1111/1467-8454.12238>

- Doğanlar, M., Mike, F., Kızılkaya, O., & Kardaşlar, A. (2023). Temperature, precipitation and economic growth: The case of the most polluting countries. *International Journal of Environmental Research*, 18(1), 4. <https://dx.doi.org/10.1007/s41742-023-00555-5>
- Fankhauser, S., & Tol, R. S. (2005). On climate change and economic growth. *Resource and Energy Economics*, 27(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2004.03.003>
- Harrell, F. E. (2015). *Regression modeling strategies with applications to linear models, logistic and ordinal regression, and survival analysis*. Springer.
- Henseler, M., & Schumacher, I. (2019). The impact of weather on economic growth and its production factors. *Climatic Change*, 154, 417-433. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02441-6>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>
- Jin, G.; Shen, K. (2022). Climate Change and Offline Service Consumption: Evidence from the Film Industry. *Journal of World Economy*, 45, 152–178. <https://doi.org/10.19985/j.cnki.cassjwe.2022.09.005>
- Kumar, S.; & Khanna, M. (2019). Temperature and production efficiency growth: Empirical evidence. *Climatic Chang*, 156(1-2), 209–229. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02515-5>
- Li, C.; Chen, J.; Peng, S.; Huang, J.; & Sha, X. (2024). Examining the effects of weather on online shopping cart abandonment: Evidence from an online retailing platform. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 78, Article 103738. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103738>
- Li, C.; Cong, J.; & Gu, H. (2020). Could Weather Fluctuations Affect Local Economic Growth? Evidence from Counties in the People's Republic of China. *Asian Development Review*, 37(2), 201–224. [https://doi.org/10.1162/adev\\_a\\_00154](https://doi.org/10.1162/adev_a_00154)
- Letta, M., Montalbano, P., & Tol, R. S. J. (2018). Temperature shocks, short-term growth and poverty thresholds: Evidence from rural Tanzania. *World Development*, 112, 13–32. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.07.013>
- Newell, R. G., Prest, B. C., & Sexton, S. E. (2021). The GDP-temperature relationship: Implications for climate change damages. *Journal of Environmental Economics and Management*, 108, 102445. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102445>
- Pachauri, R. K., et al. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Rahimi, K. S., Adeli, O. A., Maleki, M. H., Roudari, S., (2023). Predicting the effect of factors affecting economic growth of Iran with the approach of time-varying parameters -dynamic model averaging. *Journal of Econometric Modeling*, Volume:8 Issue: 2, 2023. (In Persian). <https://doi.org/10.22075/JEM.2023.29050.1782>
- Rosen, R. A., & Guenther, E. (2015). The economics of mitigating climate change: What can we know? *Technological Forecasting and Social Change*, 91, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.01.013>
- Schuster, N. A., Rijnhart, J. J. M., Twisk, J. W. R., & Heymans, M. W. (2022). Modeling non-linear relationships in epidemiological data: The application and interpretation of

- spline models. *Frontiers in Epidemiology*, 2, Article 975380. <https://doi.org/10.3389/fepid.2022.975380>
- Somanathan, E., Somanathan, R., Sudarshan, A., & Tewari, M. (2021). The impact of temperature on productivity and labor supply: Evidence from Indian manufacturing. *Journal of Political Economy*, 129(6), 1797–1827. <https://doi.org/10.1086/713733>
- Tian, X., Cao, S., & Song, Y. (2021). The impact of weather on consumer behavior and retail performance: Evidence from a convenience store chain in China. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 62, Article 102583. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102583>
- Verma, P. K., & Giri, A. K. (2025). Analysing the impacts of climate shocks and economic growth in the Asian region. *Millennial Asia*.
- Verma, P. K., & Giri, A. K. (2026). Empirical evidence on the impacts of climate change on sustainable economic growth in India. *Discover Sustainability*, 7, 512.
- Wang, C., & Lin, Q. (2021). How does bad weather affect labor productivity? Evidence from the adaptation behavior of couriers. *China Economic Quarterly*, 21, 797–818. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.12.168448>
- Wan, W., & Wang, J. (2024). The impact of weather on economic growth: County-level evidence from China. *Sustainability*, 16(22), 9988. <https://doi.org/10.3390/su16229988>
- Yang, L., Shi, J., & Chen, X. (2020). The effect of temperature changes on China's industrial production and mechanism analysis. *China Economic Quarterly*, 20, 299–320.
- Zhang, Y., & Ayyub, B. M. (2021). Temperature extremes in a changing climate. In *Climate Change and Extreme Events* (pp. 9–23). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822700-8.00001-9>
- Zhang, H., Tan, J., & Zhang, J. (2018). Climate change and urban total factor productivity: Theory and empirical analysis. *Climate Change Research*, 14, 165–174. <https://doi.org/10.1007/s00181-022-02342-1>
- Zhang, P., Deschenes, O., Meng, K., & Zhang, J. (2018). Temperature effects on productivity and factor reallocation: Evidence from a half million Chinese manufacturing plants. *Journal of Environmental Economics and Management*, 88, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.11.001>