

**Applied Economics Studies, Iran (AESI)**

P. ISSN:2322-2530 & E. ISSN: 2322-472X

Journal Homepage: <https://aes.basu.ac.ir/>

Scientific Journal of Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Publisher: Bu-Ali Sina University. All rights reserved.

Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons. (© The Author(s))



Investigating the Effect of Climate Change on the Growth of the Gross Domestic Product of Iran's Provinces in Different Periods of Time

Lotfali Azari¹ , Ali Akbar Naji Meidani² , Narges Salehnia³ 

Type of Article: Research

 <https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29480.3701>

Received: 2024.06.16; Revised: 2024.07.29; Accepted: 2024.09.07

Pp: 9-39

Abstract

The extent of the effects and consequences of climate change on various dimensions of human life today has made this phenomenon more than an environmental issue and highlighted its economic aspects with regard to its effects on economic development, poverty, inequality and prosperity. Economic analysis of climate change, especially in different time periods, requires estimates at national and local levels. In view of conducting some limited and mostly partial studies on the economic impact of changing weather conditions in Iran, in this article using the economic production data and new calculation of weather variables for the provinces of the country between 2000 to 2020, it has been possible to estimate the impact of climate change on different time scales by using annual panel model and long difference model. The results show that there is a negative effect of changes in temperature and precipitation simultaneously and with a delay of one year on the production of Iranian provinces, although the value of these coefficients is very low. In addition, these changes affect short-term production and long-term growth. However, it can be claimed that there is no long-term effect between precipitation levels and changes in production, unlike temperature levels. Also, a significant negative effect of intermittent changes in temperature on production can be seen, and a positive effect can be extracted regarding intermittent changes in precipitation. In the regression of the long difference, there was no evidence that the temperature level (or the amount of precipitation) has an effect on the production of the provinces in long periods, although the change in precipitation has a greater influence in longer periods, and unlike temperature, its effect is not rejected in shorter periods of time either.

Keywords: Climate Change, Economic Impacts, Climate Effects.

JEL Classification: Q54, Q51, O44, O13.

1. Ph.D. Candidate in Economics, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding Author), **Email:** naji@um.ac.ir.

3. Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Citations: Azari, L.; Naji Meidani, A. A. & Salehnia, N., (2025). "Investigating the Effect of Climate Change on the Growth of the Gross Domestic Product of Iran's Provinces in Different Periods of Time". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 13(52): 9-39. doi: [10.22084/aes.2024.29480.3701](https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29480.3701)

Homepage of this Article: https://aes.basu.ac.ir/article_5692.html?lang=en

1. Introduction

Climate change as a result of human activities and especially the emission of greenhouse gases can be introduced as the most important factor in global warming since the beginning of the industrialization process (IPCC, 2013). It is important to understand the relationship between climate and economic results, especially when predicting the effects of global warming (Newell et al., 2021). Weather conditions can play a vital role in directing human economic activities, and accordingly, these effects are considered to be inseparable components of climate change, with the explanation that the effects will not be the same in different geographical areas. And depending on the region, it can appear as an opportunity or a threat. According to the growing trend of global studies in the field of climate change, in this article, according to the domestic needs of Iran, the effectiveness of this phenomenon has been investigated in order to help the country's policy makers and decision makers in the low-cost transition of this process. In terms of sustainable exit from environmental conflicts and as a result, it helps to reduce economic threats in Iran's territorial future.

2. Materials and methods

The main focus in this article is to investigate and analyze the effects of local climate change and its conditions in different time scales in the provinces of Iran, while using a comprehensive set of data related to the provinces' gross domestic product. Country and climate data with full and extensive provincial coverage and a long-time scale from 2000 to 2020 using combined annual panel model and long difference model, as a practical method to investigate and analyze the effects of water change and Air is focused on economic production. The impact of climate change includes the impact on economic activity indicators and the effects that are based on the criteria of changes in the welfare of economic factors - producers, consumers and investors - due to market effects (Callaway et al., 2011). we consider a stylized Ramsey-type growth model. In general, with the modeling done, economic growth is affected by the following variables; 1) the immediate (or short-run) climate effect, 2) the transitory impact and 3) the long-term productivity growth rate (Dell et al., 2012; Kalkuhl & Wenz, 2020). In the current literature on economic effects of climate change, several different types of equations are proposed: Linear effects on the surface, nonlinear effects on the surface, nonlinear effects in the first-lag and finally nonlinear effects in positive and negative deviation from long-term weather conditions. There are also differences in how to model unobserved time heterogeneities. In this article, various characteristics of the recent literature are compared to determine which model best explains the effect of climate variables on the economic production of Iran's provinces.

3. Data

Temperature and precipitation data are extracted from the Climatic Research Unit of the University of East Anglia in the United Kingdom. Also, the gross domestic product of the provinces was extracted from the database of Iran Statistics Center and other data used according to the case from Iran Statistics Center, the digital maps of the height of the whole country in the Comprehensive Weather and Climatology Database of Iran and the Ministry of Energy.

4. Discussion

In this article, while focusing on the uncertainty of common models, research at the provincial level in Iran, which faces significant heterogeneity in climate and weather conditions and levels of development, has contributed to the progress of this field of study. Also, by using a comprehensive set of economic activity data at the provincial level with complete coverage at the national level, the relationship between economic production and weather conditions at different time scales has been analyzed. In order to measure the accuracy and strength of different models for using mixed data, while performing various tests, choosing the method of mixed data and then choosing the presence of fixed effects was accepted. In the estimation of annual models, the independent variables provided the best explanation for the dependent variable and most of them were at an acceptable level of significance. The results show the negative effect of changes in weather conditions on the production of Iran's provinces. In the estimation of the long difference models, the seven-year time periods were selected and analyzed, and some auxiliary variables were also considered according to the position of the provinces, which can be argued that the change in weather conditions did not bring adaptation over.

5. Conclusion

In this article, by using a comprehensive set of economic activity data at the provincial level with complete coverage at the national level, the relationship between economic production and weather conditions at different time scales has been analyzed. The results of this research, in line with the studies of Newell et al., (2021) and Olper et al. (2021), confirm the significant uncertainty of the current models and show the negative effect of temperature and precipitation changes simultaneously and with a delay of one year on the production of Iran's provinces, although the amount of these coefficients is very low. Economic sectors in the provinces are more dependent on temperature than precipitation,

which is the reason for the influence of temperature fluctuations on other sectors beyond agriculture, such as services, housing, construction, energy, and industry. etc. referred to rain. However, a significant negative effect of intermittent changes in temperature on production can be seen and a positive effect can be extracted regarding intermittent changes in precipitation. Although no evidence was found for continuous growth effects according to the models, higher final effects of temperature are reported compared to the models of Burke, Hsiang and Miguel (2015) and Kalkuhl and Wenz (2020). By using the regression of long difference, no evidence was found that the temperature level (or the amount of rainfall) affects the production of the provinces in long periods. In this context, it can be claimed that the expectations formed or the change in the situation compared to the previous periods have the ability to have a greater influence on the decision of economic and production activists in Iran.

Acknowledgments

The authors consider it necessary to express their gratitude to the staff and referees of the Iranian Applied Economic Studies Quarterly for improving and enriching the text of the article.

Observation Contribution

The authors declare that due to the fact that this article is extracted from a doctoral dissertation, the writing of the article was the responsibility of the first author and its guidance was the responsibility of the second and third authors.

Conflict of Interest

The authors declare the absence of conflict of interest by observing the ethical principles of publication in reference.



فصلنامه علمی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران
شاپای چاپی: ۲۵۳۰-۲۳۲۲؛ شاپای الکترونیکی: ۴۷۲۸-۲۳۲۲
وبسایت نشریه: <https://aes.basu.ac.ir>
نشریه گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(CC) حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر این که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



بررسی اثر تغییر اقلیم بر رشد تولید ناخالص داخلی استان‌های ایران در دوره‌های زمانی مختلف*

لطفعلی آذری^۱، علی اکبر ناجی میدانی^۲، نرگس صالح‌نیا^۳

نوع مقاله: پژوهشی

شناسه دیجیتال: <https://dx.doi.org/10.22084/aes.2024.29480.3701>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷

صص: ۳۹-۹

چکیده

گسترده‌ی آثار و پیامدهای تغییرات آب و هوا بر ابعاد مختلف زندگی بشر امروزی، این پدیده را از یک مسأله محیط‌زیستی فراتر برده و جنبه‌های اقتصادی آن را با توجه به اثرات آن بر توسعه اقتصادی، فقر، نابرابری و رفاه برجسته کرده است. تحلیل اقتصادی تغییرات آب و هوا به‌ویژه در دوره‌های زمانی مختلف به برآوردهایی در سطوح ملی و محلی نیاز دارد. نظر به انجام برخی مطالعات محدود و عمدتاً بخشی در زمینه تأثیر اقتصادی تغییر شرایط آب و هوایی در ایران، در این پژوهش با بهره‌برداری از داده‌های تولید اقتصادی و محاسبه جدید از متغیرهای آب و هوا برای استان‌های کشور بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹، این امکان فراهم شده است که تأثیر تغییر آب و هوا در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از رگرسیون‌های ترکیبی (پانل) سالانه و تفاضل طولانی تخمین زده شود. نتایج نشان می‌دهد اثر منفی تغییرات دما و بارش هم‌زمان و با تأخیر یک ساله بر تولید استان‌های ایران وجود دارد؛ هرچند مقدار این ضرایب بسیار کم است. هم‌چنین یک اثر منفی قابل توجه از تغییرات باوقفه دما بر تولید نیز قابل مشاهده است و اثر مثبت درخصوص تغییرات باوقفه بارش قابل استخراج است. در رگرسیون تفاضل طولانی شواهدی مبنی بر تأثیرگذاری سطح دما (یا میزان بارندگی) بر تولید استان‌ها در دوره‌های طولانی یافت نشد؛ هرچند تغییر بارندگی، قدرت تأثیرگذاری بیشتری در دوره‌های طولانی مدت‌تر به همراه دارد و برخلاف دما، تأثیرگذاری آن در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر نیز رد نمی‌شود.

کلیدواژگان: تغییر آب و هوا، اثرات اقلیم، تأثیرات اقتصادی.

طبقه‌بندی JEL: O13, O44, Q51, Q54.

*. این مقاله برگرفته از رسال دکتری نویسنده اول در دانشگاه فردوسی مشهد است.

۱. دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Email: Lotfaliazari@mail.um.ac.ir

۲. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (نویسنده مسئول)

Email: naji@um.ac.ir

۳. دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Email: n.salehnia@um.ac.ir

۱. مقدمه

تغییر آب و هوا به عنوان پیامد ناشی از فعالیت انسان و به طور ویژه، حاصل انتشار گازهای گلخانه‌ای را می‌توان مهم‌ترین عامل گرم شدن کره زمین از آغاز فرآیند صنعتی شدن تاکنون معرفی کرد. در صورتی که اقدامی برای کاهش کربن در سطح جهان انجام نشود و رشد اقتصادی محدود نگردد، این احتمال وجود دارد که میانگین دمای جهانی در پایان قرن بین ۲/۶ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم^۱، ۲۰۱۳). انتظار می‌رود با شتاب تغییرات آب و هوای جهانی، بر تعداد و شدت رویدادهای شدید آب و هوایی نیز افزوده شود (رحمستورف و کومو^۲، ۲۰۱۱). شناخت مطلوب رابطه بین اقلیم و نتایج اقتصادی به‌ویژه در زمان پیش‌بینی اثرات گرمایش جهانی حائز اهمیت است (نیول و همکاران^۳، ۲۰۲۱). در سالیان اخیر هم در سطح جهانی و هم در سطح کشورها، تعداد فزاینده‌ای از شواهد اقتصادسنجی جمع‌آوری شده است که تغییرات تصادفی متغیرهای آب و هوا را به نتایج اقتصادی مرتبط می‌کنند (دل و همکاران^۴، ۲۰۱۴؛ کلستاد و همکاران^۵، ۲۰۲۰). ثابت شده است نوسانات دما و حد نهایی شاخص‌های آب و هوا، تأثیر قابل توجهی بر فعالیت‌های اقتصادی (دل و همکاران^۶، ۲۰۱۴؛ بورک و همکاران^۷، ۲۰۱۵)، رفاه انسان (پاتز و همکاران^۸، ۲۰۰۵؛ شیانگ و همکاران^۹، ۲۰۱۳؛ دشنیز^{۱۰}، ۲۰۱۴) و عملکرد اکوسیستم (هویگ-گولدبرگ و برونو^{۱۱}، ۲۰۱۰ و هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم^{۱۲}، ۲۰۱۴) دارند؛ بنابراین شرایط آب و هوایی می‌تواند نقش حیاتی در جهت‌دهی به فعالیت‌های اقتصادی انسان داشته باشد و بر این اساس، این تأثیرات از اجزای جدانشدنی تغییر اقلیم محسوب می‌شود، با این توضیح که تأثیرگذاری در مناطق مختلف جغرافیایی یکسان نخواهد بود و به فراخور هر منطقه می‌تواند در نقش فرصت یا تهدید ظاهر شود.

تغییر اقلیم بر همه جنبه‌های زندگی و فعالیت انسان اثرگذار است که یکی از مهم‌ترین آن، تأثیر بر سلامت است. هم‌چنین شرایط آب و هوایی قابلیت تأثیرگذاری متفاوت بر مناطق با اقلیم‌های متنوع را دارد. مطالعات انجام شده مبین وجود رابطه غیرقابل انکار بین بخش‌هایی از اقتصاد به‌غیر از کشاورزی، امنیت غذایی، بهداشت و انرژی با آب و هوا است؛ به‌طوریکه شرایط آب و هوایی حتی بر ساختمان‌سازی، تفریح، کیفیت زندگی و برخی کالاهای غیربازاری نیز اثر دارد (مسترز و مک‌میلان^{۱۳}، ۲۰۰۱؛ مندلسون و همکاران^{۱۴}، ۲۰۰۱؛ چانگ^{۱۵}، ۲۰۰۲؛ لیندکوئیست^{۱۶}، ۲۰۱۵؛ لیمباخ و همکاران^{۱۷}، ۲۰۱۷). برای طراحی سیاست‌های بهینه به‌منظور کاهش اثرات و مقابله با پدیده تغییر اقلیم و هم‌چنین طراحی توافق‌نامه‌های فرامنطقه‌ای و بین‌المللی برای تقویت و توسعه همکاری در

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² Rahmstorf and Coumou

³ Newell, Prest and Sexton

⁴ Dell, Jones & Olken

⁵ Kolstad, Moore & Frances

⁶ Burke, Hsiang & Miguel

⁷ Patz et al.

⁸ Hsiang, Burke & Miguel

⁹ Deschenes

¹⁰ Hoegh-Guldberg & Bruno

¹¹ Masters & McMillan

¹² Mendelsohn, Dinar & Sanghi

¹³ Chang

¹⁴ Lindquist

¹⁵ Leimbach et al.

زمینه کاهش انتشار جهانی، درک کاملی از کاهش هزینه ها و مزایای تغییر اقلیم ضروری است (کلکول و ونز، ۲۰۲۰). شرایط اقلیمی قابلیت تأثیرگذاری در اشکال مختلف مستقیم و غیرمستقیم را بر بخش ها و زیربخش های گوناگون اقتصاد دارا می باشد که با مدنظر قرار گرفتن این که کشور پهناور ایران در پهنه بندی هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، در زمره مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته و مجموعه اطلاعات و داده های هواشناسی و همچنین پیش بینی ها، مبین وقوع رخداد تغییر اقلیم، به ویژه در چند دهه اخیر و استمرار این وضعیت در ایران است، اهمیت این پژوهش بیش از پیش روشن می شود.

از نوآوری های مهم در ادبیات نوظهور مربوط به بررسی تأثیر اقتصادی تغییرات اقلیم، استفاده از مدل های اقتصادسنجی مبتنی بر داده های ترکیبی (پانل) کوتاه مدت یعنی تغییر سالانه متغیرهای آب و هوا، به منظور جداسازی بهتر رابطه (علی) دما- تولید است (دشنیز و گرین استون^۱، ۲۰۰۷؛ دل و همکاران، ۲۰۱۴؛ شیانگ^۲، ۲۰۱۶؛ بلانک و اشلنکر^۳، ۲۰۱۷؛ آف هامر^۴، ۲۰۱۸). بیشتر این ادبیات روجه توسعه بر رابطه جهانی بین متغیرهای آب و هوا و متغیرهای سطح کلان اقتصاد مانند تولید ناخالص داخلی سرانه تمرکز دارند که در این زمینه می توان به مطالعات «دل» و همکاران^۵، (۲۰۱۲)؛ «پرتیس»^۶ و همکاران، (۲۰۱۸) و «نیول» و همکاران، (۲۰۲۱) اشاره داشت؛ هرچند نقدهایی به دلایل مختلف بر مطالعات و تحلیل های موجود درمورد تأثیر تغییرات آب و هوا وارد شده است؛ از جمله، درنظر گرفته نشدن شرایط متوسط اقلیمی و یا عدم لحاظ روند این متغیرها.

باتوجه به روند رو به توسعه مطالعات جهانی در زمینه تغییر اقلیم، هرچند بخش عمده ای از مطالعات به علل و عوامل شکل گیری این پدیده پرداختند که نظر به این که انتشار آلاینده ها و پیامدهای زیست محیطی و در ادامه تأثیرات اقتصادی آن، مشکل جهانی و عمدتاً فرامرزی است؛ لذا رفع آن نیز عزم جهانی و فراسرزمینی طلب می کند. در این پژوهش بنا به نیاز داخلی برای کشور ایران، تأثیرپذیری از این پدیده مورد بررسی قرار گرفته است تا به سیاست گذاران و تصمیم گیران کشور در گذار کم هزینه از این فرآیند از حیث خروج پایدار از ناترازی های محیط زیستی و در نتیجه کاهش تهدیدهای اقتصادی در آینده سرزمینی ایران کمک کند. به همین دلیل، تمرکز اصلی در این پژوهش، بررسی و تحلیل تغییرات آب و هوای محلی و شرایط آن در مقیاس های زمانی مختلف به منظور رفع نواقص مطالعات قبلی در این زمینه است؛ لذا ضمن بهره گیری از مجموعه جامع از داده های مربوط به تولید ناخالص داخلی استان های کشور و اطلاعات آب و هوا در سطح کلیه استان های کشور و مقیاس زمانی طولانی از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ با استفاده از رگرسیون های ترکیبی (پانل) سالانه و تفاضل طولانی، به عنوان روشی کاربردی به بررسی و تحلیل اثرات تغییر آب و هوا بر تولید اقتصادی پرداخته می شود. در این پژوهش پس از مقدمه، ادبیات موضوع و مبانی نظری به همراه پیشینه پژوهش ارائه می شود و در ادامه نسبت به طراحی الگوی مدل و تحلیل تجربی و نهایتاً ارائه تفصیلی نتایج و یافته های پژوهش اقدام شده است.

¹ Kalkuhl & Wenz

² Deschenes & Greenstone

³ Hsiang

⁴ Blanc & Schlenker

⁵ Auffhammer

⁶ Dell, Jones & Olken

⁷ Pretis et al.

۲. مبانی نظری

معمولاً به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد اقتصادی در مطالعات مربوط، مسیرهایی مدنظر قرار می‌گیرد؛ از جمله، تبعات ناشی از شرایط نامساعد آب و هوا که منجر به تخریب اکوسیستم و در ادامه آن آسیب بر رشد اقتصادی می‌شود. علاوه بر این، تخصیص بیشتر منابع به منظور برطرف‌سازی یا محدودسازی تبعات گرمایش زمین یا سایر پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، منجر به محدودیت و کاهش منابع موردنیاز برای سرمایه‌گذاری در سایر زیرساخت‌ها می‌شود. همچنین، شکل‌گیری عدم قطعیت در تصمیمات سرمایه‌گذاران و فعالان اقتصادی به دلیل این که عوامل تولید به‌ویژه در بخش کشاورزی تمایل به سرمایه‌گذاری در فعالیتهای کم‌خطر، اما کم‌بازده دارند که این مسأله در مواجهه با شرایط آب و هوایی غیرقابل پیش‌بینی، از دیگر کانال‌های اثرگذار بر تولید است (باباتونده و آدیفی^۱، ۲۰۰۵؛ علی^۲، ۲۰۱۲). واضح است تغییر آب و هوا بر رشد بلندمدت مناطقی که اقتصادشان بیشتر به این شرایط وابسته است، تأثیرگذاری بیشتری دارد. مدل‌سازی برای بررسی کلیه این اثرات، از جمله چالش‌هایی است که محققان در این زمینه با آن مواجه هستند و این موضوع وقتی برای برآوردهای طولانی‌مدت صورت می‌گیرد، بیشتر می‌شود؛ به نحوی که ارائه یک الگوی تغییر فنی و هدایت‌شده از رشد اقتصادی و بهره‌وری انرژی به منظور مطالعه تأثیر سیاست‌های کاهش تغییرات آب و هوا بر مصرف انرژی ضرورت دارد (کیسی^۳، ۲۰۲۴).

براساس مطالعات انجام شده، در هر دو دیدگاه خرد و کلان اقتصادی، اثرگذاری تغییرات آب و هوا بر تولید از طریق تأثیر بر میزان تولیدات، وضعیت نهادها، تشکیل سرمایه، وضعیت سلامت جامعه، نیروی کار و غیره قابل اثبات است (داسگوپتا و همکاران^۴، ۲۰۱۷؛ نیولو همکاران^۵، ۲۰۲۱). تأثیر تغییر اقلیم شامل تأثیر بر شاخص فعالیت‌های اقتصادی و علاوه بر آن تأثیراتی است که براساس معیارهای تغییر در رفاه عوامل اقتصادی - تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران - به دلیل تأثیرات بازار صورت می‌گیرد (کلاوی و همکاران^۶، ۲۰۱۱).

پیش‌بینی‌های جهانی آسیب‌های تغییر اقلیم بر وضعیت کلان اقتصادی، معمولاً تأثیر میانگین دمای سالانه و ملی را در افق‌های طولانی‌مدت در نظر می‌گیرند (دسمت و روسی هانسبرگ^۷، ۲۰۲۴) و تابع آسیب مورد استفاده برای ارزیابی تأثیر اقتصادی تغییرات دما یکی از گمانه‌زانه‌ترین مؤلفه‌های مدل‌های ارزیابی یکپارچه تغییرات آب و هوا است (ابرهارد^۷، ۲۰۲۴).

برآوردهای فعلی نشان می‌دهد، تغییرات آب و هوا احتمالاً تأثیر محدودی بر اقتصاد و رفاه انسان در قرن ۲۱ خواهد داشت؛ درواقع، تأثیر اولیه تغییر آب و هوا ممکن است مثبت باشد؛ با این حال، در دراز مدت تأثیرات منفی بر تأثیرات مثبت غالب است. تأثیرات منفی در کشورهای فقیرتر، گرم‌تر و پایین‌تر به‌طور قابل‌توجهی بیشتر خواهد بود، کاهش فقر مکمل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی است. اگرچه تغییرات آب و هوایی ممکن است بر نرخ رشد اقتصاد جهانی تأثیر بگذارد و افراد بیشتری را در دام فقر

¹ Babatunde & Adefabi

² Ali

³ Casey

⁴ Dasgupta et al.

⁵ Callaway et al.

⁶ Desmet and Rossi-Hansberg

⁷ Eberhardt

بیانندارد، اما تعیین کمیّت این تأثیرات همچنان دشوار است. برخلاف باور عمومی، نزد بسیاری افراد، انجام برخی اقدامات قوی تر در مورد تغییرات آب و هوا ممکن است رشد اقتصادی و حتی رفاه اجتماعی را تا حدودی افزایش دهد؛ اما به دلیل شکست های متعدد بازار که باعث می شوند عملکرد اقتصادی کمتر از حد مطلوب باشد، پرداختن به تغییرات آب و هوایی، گزند این شکست ها را کاهش می دهد (استرن و استیگلیتز^۱، ۲۰۲۳؛ تول^۲، ۲۰۲۴).

مطالعات انجام شده در بخش کشاورزی نشان می دهد؛ اثرات تغییر اقلیم برای کشورهایی که در نیمه میانی عرض جغرافیایی قرار دارند، احتمالاً برای بیشتر قرن مفید بوده و فقط در اواخر قرن مضر خواهد بود؛ هرچند اثرات منفی بر کشاورزی در کشورهای آفریقایی، آمریکای لاتین و چین خواهد داشت. اندازه کلی این تأثیر کمتر از تجزیه و تحلیل های قبلی است که به خاطر سازگاری پیش بینی شده است (بهرامی، ۱۴۰۰).

بر این اساس تبعات و پیامدهای ناشی از پدیده تغییر اقلیم در طول زمان جدی هستند. این پدیده خود را در تولیدات کمتر و در نتیجه مقادیر رشد پایین تر نشان می دهد. این وضعیت در ادامه بر سطح رفاه اقتصادی و نهایتاً فقر نیز تأثیر گذار خواهد بود و به همین دلیل در مراحل بعدی منجر به محدودیت در سطوح درآمدی خانوارها و سطح سلامت جامعه و نیروی کار خواهد شد. با توجه به این که تولیدات اقتصادی به کیفیت نیروی کار، ظرفیت های فیزیکی سرمایه به عنوان کیفیت محیطی و همچنین سرمایه در دسترس اقتصاد برای تولید بستگی دارد، طبیعی است که با تحت تأثیر قرار گرفتن این موارد طی یک سال، رشد تولیدات آن سال با آسیب مواجه می شود.

۳. پیشینه پژوهش

وجه اشتراک اغلب مطالعات مربوط به بررسی پیامدهای تغییر اقلیم در سطح جهان، بیان آثار و پیامدهای ناگزیر اقتصادی آن است که حوزه تحقیقاتی بکری در این زمینه پیش روی محققان قرار داده است. با این وجود در داخل کشور، برخی از مطالعات جزئی و عمدتاً محدود به بخش کشاورزی انجام شده، هرچند خلأ محسوسی در تدوین و ارائه مطالعات جامع تأثیرگذاری این پدیده فراتر از بخش کشاورزی آشکار است؛ هرچند بخش عمده مطالعات، بر تأثیر بر بخش کشاورزی تمرکز دارد؛ از جمله مطالعات: «چانگ» (۲۰۰۲)، «دشنیز» و «گرین استون» (۲۰۰۷)، «باریوس» و همکاران^۳ (۲۰۰۸)، «گویترس»^۴ (۲۰۰۹)، «آف هامر» و «اشلنکر»^۵ (۲۰۱۴) و «اولپر» و همکاران^۶ (۲۰۲۱). اما در مطالعاتی دیگر، «براون» و «لال»^۷ (۲۰۰۶)، یک مدل رگرسیون برای بررسی چگونگی ارتباط تولید ناخالص داخلی سرانه کشورها با مجموعه ای از ویژگی های آب و هوایی ایجاد کردند؛ طبق نتایج آنان، نوسانات بارش به عنوان یکی از بارزترین و مهم ترین نمودهای تغییر اقلیم، موجبات کاهش تولید ناخالص داخلی را فراهم می آورد. «گری» و «سادف»^۸ (۲۰۰۶) نشان دادند رخدادهای سیل و خشکسالی در کشور اتیوپی، زمینه کاهش یک-سوم رشد اقتصادی این کشور را فراهم آورده است؛ همچنین «علی» (۲۰۱۲) برای کشور اتیوپی و الشناوی،

¹ Stern & Stiglitz

² Tol

³ Barrios, Ouattara & Strobl

⁴ Guiteras

⁵ Auffhammer & Schlenker

⁶ Olper et al.

⁷ Brown & Lal

⁸ Grey & Sadoff

«روینسون» و «ویلنبوکل»^۱ (۲۰۱۶) برای کشور مصر در مطالعاتی مشابه دریافتند که رشد اقتصادی در این دو کشور از تغییرات میزان بارندگی به صورت منفی تأثیرپذیر است. «بورک» و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند شرایط آب و هوایی می‌تواند تأثیر عمیقی بر عملکرد جوامع بشری پیشرفته داشته باشد، درحالی‌که تأثیر آن بر فعالیت‌های اقتصادی تاحدودی متناقض گزارش شده است. «هریس» و همکاران (۲۰۱۵) ابعاد مختلف خسارات اقتصادی ناشی از تغییر آب و هوا را در آمریکا شامل بخش‌های کشاورزی، جنگل‌زدایی، از بین رفتن گونه‌ها، افزایش سطح آب دریا، تولید برق، سلامت، مهاجرت، مخاطرات آب و هوایی و غیره را بررسی کردند. نتایج مطالعه دیگری برای کشور برزیل نیز توسط «تبالدی» و «بیودین»^۲ (۲۰۱۶) انجام شده است که اثرات منفی تأثیرپذیری تولید اقتصادی در مناطق مختلف آن کشور را از تغییرات آب و هوا نشان می‌دهد. «کلکول» و «ونز» (۲۰۲۰)، شواهدی پیدا کردند که سطح بهره‌وری و رشد بهره‌وری در حد بالایی از دما متأثر است. «اولپر» و همکاران (۲۰۲۱) اثر تغییرات آب و هوا را برای مناطق مختلف کشور ایتالیا تا پایان قرن بررسی کردند و اثرگذاری ناچیز بر تولید ناخالص داخلی سرانه را نتیجه گرفتند؛ هرچند طبق نتایج آنان، تغییرات آب و هوا زیان‌های مهمی در بخش کشاورزی برجا خواهد گذاشت. در مطالعات دیگری از جمله توسط: دل و همکاران (۲۰۱۴) چگونگی تأثیر دما، بارش و طوفان بر نتایج اقتصادی، «پاتز» و همکاران (۲۰۰۵) ارتباط بیماری‌های انسانی رایج با نوسانات آب و هوایی، «کارلتون» و «شیانگ»^۳ (۲۰۱۶) اثرات آب و هوا بر سلامت، اقتصاد، درگیری، مهاجرت و جمعیت‌شناسی مورد بحث قرار گرفته است. از ایرادهای اساسی این مطالعات، بررسی تجمیعی اثرات در سطح ملی است که چون معمولاً تجزیه و تحلیل در سطوح ملی یا فراتر از سطح ملی انجام می‌شود، هنگام میانگین‌گیری از متغیرهای آب و هوا در سطح کشور، به‌طور طبیعی بخشی از اطلاعات و داده‌های مفید در نظر گرفته نمی‌شود و اگر کشور پهناور یا آب و هوای آن در مناطق مختلف جغرافیایی، متفاوت و ناهمگن باشد، این موضوع می‌تواند تأثیرگذاری بیشتری داشته باشد (بورک و تانوتاما^۴، ۲۰۱۹؛ اولپر و همکاران، ۲۰۲۱). «دسمت» و «روسی هانسبرگ» (۲۰۲۴) با استفاده از یک رویکرد تجربی که یک حد پایین قوی برای تداوم تأثیرات بر رشد اقتصادی ارائه می‌کند، نتیجه گرفتند که اقتصاد جهانی متعهد به کاهش درآمد ۱۹٪ طی ۲۶ سال آینده مستقل از انتخاب‌های انتشار آتی است. خسارات متحمل‌شده عمدتاً از طریق تغییرات در دمای متوسط ایجاد می‌شود، اما در نظر گرفتن اجزای آب و هوایی بیشتر تخمین‌ها را تقریباً ۵۰٪ افزایش می‌دهد و منجر به ناهمگونی منطقه‌ای قوی‌تر می‌شود. تلفات برای همه مناطق به‌جز مناطقی که در عرض‌های جغرافیایی بسیار بالا قرار دارند، پیش‌بینی می‌شود؛ که در آن کاهش تغییرات دما مزایایی را به‌همراه دارد. بیشترین تلفات در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر در مناطقی با انتشارات تاریخی تجمعی کمتر و درآمد کنونی کمتر صورت می‌گیرد. «بارتز» و «تافتام»^۵ (۲۰۲۳) نیز پیامدهای بلندمدت خطرات فیزیکی تغییرات آب و هوایی (یعنی تغییرات بارندگی) و اثرات کلان اقتصادی آن را در یک کشور در حال توسعه مانند آرژانتین مورد مطالعه قرار دادند که در آن، تأثیر تغییرات بارندگی بر ذخایر ارزی، کنترل فعالیت‌های اقتصادی، جریان سرمایه و بازپرداخت

¹ Elshennawy, Robinson & Willenbockel

² Harris, Brian & Annr

³ Tebaldi & Beaudin

⁴ Carleton & Hsiang

⁵ Burke & Tanutama

⁶ Bortz & Toftum

بدهی مطالعه شده است. طبق نتایج کاهش بارندگی در ژانویه (عمدتاً) و فوریه به طور قابل توجهی با انباشت ذخایر کمتر توسط بانک مرکزی ارتباط داشته است. نتایج مطالعه انجام شده توسط ابرهارد (۲۰۲۴) مشخص کرده است که در کشورهای کم درآمد یا با دمای بالا، افزایش دائمی یک درجه سانتی گراد دما با کاهش درآمد سرانه حدود ۱/۳٪ در کوتاه مدت و ۸/۵٪ در بلندمدت همراه است.

مبانی نظری و تجربی برای این گونه عملکردها مستمراً مورد نقدهایی نیز واقع شده است؛ به طور نمونه، «پیندیک»^۱ (۲۰۱۳)، «فارمر» و همکاران^۲ (۲۰۱۵)، «استرن» (۲۰۱۶) و «آفهامر» (۲۰۱۸) نقدهایی بر مدل های ارزیابی و بنیان های ضعیف نظری و تجربی و موضوعات کلیدی عدم قطعیت، تجمع، ناهمگونی و پیامدهای توزیعی، تغییرات تکنولوژیکی و مهم تر از همه، توابع واقع بینانه آسیب برای تأثیر اقتصادی پیامدهای فیزیکی تغییرات آب و هوا در زمینه مدل های اقتصادی تغییر آب و هوا وارد کردند.

در ایران نیز اغلب مطالعات تأکید بر تأثیرگذاری بر بخش کشاورزی و یا نگاه ویژه به امنیت غذایی دارد؛ از جمله، «جعفری» و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر امنیت غذایی و قابلیت تأثیرگذاری بلندمدت آن بر سودآوری و سطح درآمد کشاورزان، «خالقی» و همکاران (۱۳۹۴) ضمن بررسی تأثیرپذیری تولید بخش کشاورزی و اقتصاد ایران از تغییر اقلیم و ارتباط معنادار بین دما و بارش با تولید بخش کشاورزی، و «سلیمانی نژاد» و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی اثرات منفی دما و مثبت بارش بر ارزش افزوده بخش کشاورزی، در این زمینه مطالعاتی انجام دادند. «صالحی کمرودی» و «ابونوری» (۱۳۹۸) برای دوره زمانی ۹۳-۱۳۷۹ نشان دادند؛ تغییر اقلیم، قابلیت آن را دارد که سطح درآمد سرانه خانوارهای ایرانی را کاهش دهد؛ هرچند مطابق یافته های آنان، شواهدی از تأثیر بر رشد اقتصادی مشاهده نشده است. در پژوهشی دیگر، «میرجلیلی» و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثر متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر رشد تولید ناخالص داخلی ۲۷ استان ایران با بهره گیری از متغیرهای کنترلی با استفاده از داده های سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ پرداخته اند که مطابق یافته های آنان، دما دارای اثر منفی و بارش با اثر مثبت بر رشد تولید ناخالص داخلی با احتساب نفت و بدون نفت در استان ها گزارش شده است. بهرامی (۱۴۰۰) در مقاله ای با مروری بر حدود پنجاه مقاله با موضوع مرتبط، اثرات تغییر اقلیم بر رشد اقتصادی را بررسی کرده که طبق یافته های وی، ادعا شده تأثیر تغییر اقلیم بر اقتصاد جهانی طی ۵۰ سال آینده احتمالاً اندک خواهد بود و بزرگترین تهدیدی که تغییر اقلیم برای رشد اقتصادی بلندمدت ایجاد می کند، ناشی از تلاش های احتمالی بیش از حد برای کاهش گازهای گلخانه ای خواهد بود. در برخی بررسی های مصداقی نیز در مطالعه «اکبری» و همکاران (۱۳۹۹) با تأکید بر تأثیرگذاری امنیت غذایی در کیفیت زندگی به عنوان یک شاخص درخور توجه برای ارزیابی توسعه اقتصادی کشور، بر سیاست های هدفمند در به تعادل رسیدن گروه های پرخطر جامعه تأکید داشتند؛ هم چنین «سالم» و «جباری» (۱۴۰۱) نیز با تحلیل و بررسی اثر بلایای طبیعی بر الگوی مصرف خانوار در ایران، نشان دادند؛ خانوارها در استان هایی که شوک های ناشی از سیل را تجربه می کنند، مصرف خود را از تمام گروه های خوراکی کاهش می دهند. وجه تمایز برجسته این مطالعه با سایر مطالعات مشابه قبلی، ضمن بهره گیری از نقاط قوت آن مطالعات، در بررسی و تحلیل موضوع مبتنی بر داده های با پوشش گسترده جغرافیایی در کلیه استان ها و دوره زمانی ۲۱ ساله و

¹ Pindyck

² Farmer

مقیاس‌های زمانی سالانه و میان مدت (۷ ساله) به منظور سنجش سازگاری و مقایسه تطبیقی بین آن‌ها است.

۴. روش پژوهش

در مطالعات نظری به منظور بررسی تأثیر اقتصادی تغییر آب و هوا، مدل رشد رمزی^۱ مدنظر قرار می‌گیرد. در این الگو، تولید ناخالص داخلی (Y) به صورت $Y = \phi F(K, AL)$ در نظر گرفته می‌شود که در آن F تابع تولید نئوکلاسیک و همگن از درجه یک است و K، A و L به ترتیب موجودی سرمایه، بهره‌وری نیروی کار و تعداد نیروی کار است که در آن جمعیت به جای تعداد نیروی کار به کار گرفته می‌شود؛ همچنین $\phi \equiv \phi(T)$ که توسط «نوردهاوس»^۲ معرفی شده، خسارات اقتصادی را بر روی بهره‌وری کل نشان می‌دهد؛ در نتیجه، یک تغییر دائمی در میانگین دما (T)، کاهش مصرف بلندمدت را با ضریب $(1 - \phi)$ به همراه دارد. سایر متغیرهای آب و هوا، از جمله بارش نیز مانند میانگین دما در این مدل وارد می‌شوند. تولید و مصرف سرانه در بلندمدت در مدل رمزی، با نرخ رشد بهره‌وری نیروی کار افزایش می‌یابند؛ درحالی‌که در مدل‌های رشد برون‌زا، این نرخ یک پارامتر است؛ در مدل‌های رشد درون‌زا بیشتر با پارامترهای ساختاری مربوط به هزینه‌های نوآوری، ساختار بازار، ترجیحات و فناوری توضیح داده می‌شود.

۴-۱. الگوی پژوهش

در مدل‌های رشد درون‌زا، گرمایش زمین می‌تواند از طریق انگیزه‌های تحقیق و نوآوری بر رشد تأثیر گذارد (بارو و سالای‌مارتین^۳، ۲۰۰۳؛ استرن^۴، ۲۰۱۳؛ کلکول و ونز، ۲۰۲۰)؛ بنابراین تمرکز در تأثیر تغییرات آب و هوا بر کانال‌های رشد متداول، $g_A \equiv g_A(T)$ است. با مدنظر قرار گرفتن رابطه یادشده:

$$\frac{\partial F}{\partial (AL)} = \frac{F - \frac{\partial F}{\partial K} K}{AL} \quad (۱)$$

مطابق قضیه «اولر»^۵ و استفاده از لگاریتم تولید ناخالص داخلی، از مدل (۱) نتیجه‌گیری می‌شود:

$$\begin{aligned} \frac{d \ln(Y)}{dt} &= \frac{\phi'(T)}{\phi(T)} \dot{T} + \frac{1}{F} \left(\frac{\partial F}{\partial K} \frac{dK}{dt} + \frac{\partial F}{\partial (AL)} \frac{d(AL)}{dt} \right) \\ &= \frac{\phi'(T)}{\phi(T)} \dot{T} + \frac{1}{F} \left(\frac{\partial F}{\partial K} \frac{dK}{dt} + \left(F - \frac{\partial F}{\partial K} K \right) \frac{d \ln(AL)}{dt} \right) \\ &= \frac{\phi'(T)}{\phi(T)} \dot{T} + \phi \frac{1}{K} \frac{dK}{dt} + (1 - \phi) g_{AL} \end{aligned} \quad (۲)$$

در این معادله $\dot{T}$ مشتق زمانی T و $\phi = \frac{\partial F}{\partial K} K$ است. تغییرات موجودی سرمایه با I، نرخ استهلاک با δ به صورت $\frac{dK}{dt} = I - \delta K = sY - \delta K$ و نرخ پس‌انداز s با $0 \leq s \leq 1$ است؛ بنابراین رشد سرانه با استفاده از معادله (۲) به شرح زیر نوشته می‌شود:

¹ Ramsey

² Nordhaus

³ Barro & Sala-i Martin

⁴ Stern

⁵ Euler's Theorem

$$g_y = \frac{d\ln(Y)}{dt} = \frac{d\ln\left(\frac{Y}{L}\right)}{dt} = \frac{d\ln(Y)}{dt} - g_L \quad (3)$$

$$= \frac{\varphi'(T)}{\varphi(T)} \dot{T} + \varphi\left(s\frac{Y}{K} - \delta\right) + (1 - \varphi)(g_A(T) + g_L) - g_L$$

این معادله نیز با تجزیه به سه جزء به شرح زیر قابل ارائه است:

$$g_y = \frac{\varphi'(T)}{\varphi(T)} \dot{T} + \varphi\left(s\frac{Y}{K} - \delta - g_L - g_A(T)\right) + g_A(T) \quad (4)$$

در معادله (۴) رشد، تحت تأثیر متغیرهای پیش رو واقع می شود؛ (۱) تأثیر فوری (یا آنی) تغییر در دما از طریق تأثیر در سطح بهره‌وری یا $\frac{\varphi'(T)}{\varphi(T)} \dot{T}$ (۲) تأثیر زودگذر (ناپایدار) بر نرخ رشد برای همگرایی به نرخ رشد بلندمدت اقتصاد یا عبارت $\varphi\left(s\frac{Y}{K} - \delta - g_L - g_A(T)\right)$ و (۳) نرخ رشد بلندمدت^۱ یا عبارت $g_A(T)$ (دل همکاران، ۲۰۱۲؛ کلکول و ونز، ۲۰۲۰).

برای تشخیص این که تأثیرگذاری $\Psi(T)$ صرفاً یک تأثیر زودگذر (ناپایدار) است؛ اگر در نظر گرفته شود که اقتصاد در مسیر رشد متعادل بلندمدت قرار دارد، یعنی مسیری که در آن موجودی سرمایه سرانه و تولید با نرخ رشد بلندمدت g_A رشد می کنند، با $\frac{dK}{dt} = I - \delta K = sY - \delta K$ به دست می آید که $\Psi(T) = 0$ ؛ بنابراین رشد زودگذر وجود ندارد، بلکه رشد فقط در نرخ رشد بلندمدت (یعنی در امتداد مسیر رشد متعادل بلندمدت) است. اگر تولید به خاطر تغییر دما کاهش یابد، Y به طور غیرمنتظره‌ای کاهش می یابد؛ درحالی که K توسط تصمیمات سرمایه گذاری قبلی تعیین می شود؛ بنابراین $\Psi(T)$ با Y پایین تر منفی می شود (بورک و همکاران، ۲۰۱۵؛ کلکول و ونز، ۲۰۲۰). چون اقتصاد باید اکنون به سطح پایین تر از سرمایه مؤثر $\frac{K}{AL}$ همگرا شود، در این شرایط باید موجودی سرمایه بیش از حد خود را که در انتظار سطح بهره‌وری بالاتری ایجاد شده، کاهش دهد. این عدم سرمایه گذاری موقت باعث کاهش تولید ناخالص داخلی نیز خواهد شد؛ با این حال، نرخ رشد بلندمدت اقتصاد دوباره توسط $g_A(T)$ تعیین می شود و تنها از طریق کانال اثر مسیر رشد متعادل تغییر می کند؛ یعنی اگر $g_A(T)$ در ازای تغییرات در دما تغییر کند.

معمولاً یکی از مشکلات کلیدی که در بهره‌برداری از معادلات استخراج شده از معادله (۴) رخ می دهد، این است که اساساً یک نظریه غالب در این زمینه وجود ندارد که چگونگی اثرگذاری متغیرهای آب و هوا بر نتایج اقتصادی را نشان دهد که در این زمینه می توان به مطالعات انجام شده توسط دل و همکاران (۲۰۱۴) و نیول و همکاران (۲۰۲۱) اشاره داشت. در ادبیات کنونی موضوعات مربوط به اثرات اقتصادی تغییر شرایط آب و هوا، چند نوع معادله مختلف مورد پیشنهاد است. با شروع از متغیر وابسته، مهم ترین تفاوت ها بین مشخصات در سطح مانند «دریوژینا» و «شیانگ»^۲ (۲۰۱۷)، «داسگوپتا» و همکاران (۲۰۱۷) و برخی دیگر از پژوهشگران و مشخصات در نرخ رشد مانند مطالعات دل و همکاران (۲۰۱۲)، بورک و همکاران (۲۰۱۵) و پرتیس و همکاران (۲۰۱۸) شروع می شود. با توجه به متغیرهای آب و هوا (دما و بارش)، نیز چند گزینه وجود دارد؛ اثرات خطی در سطح مانند مطالعات دل و همکاران (۲۰۱۲)، اثرات غیرخطی در سطح در مطالعات بورک و همکاران (۲۰۱۵) و پرتیس و همکاران

1 Balanced growth path (BGP)

2 Deryugina & Hsiang

(۲۰۱۸)؛ همچنین اثرات غیرخطی در وقفه‌های اول توسط نیول و همکاران (۲۰۲۱) و در نهایت اثرات غیرخطی در انحراف مثبت و منفی از شرایط آب و هوایی بلندمدت توسط «کان» و همکاران (۲۰۲۱)؛ همچنین تفاوت‌هایی نیز در رابطه با نحوه مدل‌سازی ناهمگونی‌های زمانی مشاهده نشده وجود دارد، مانند اثرات ثابت زمان توسط دروژینا و شیانگ (۲۰۱۷). در این پژوهش، مشخصات مختلفی از ادبیات اخیر با هم مقایسه می‌شوند تا مشخص شود کدام مدل به بهترین وجه تأثیر متغیرهای آب و هوا را بر تولید اقتصادی استان‌های ایران توضیح می‌دهد. مدل‌های مطرح در این قسمت، چارچوبی مشخص برای تعیین معادله رگرسیون رشد فراهم می‌آورد که منعکس‌کننده شرایط کلیدی معادله (۴) در یک مفهوم گسسته زمانی است (جایی که $\Delta T = \dot{T}$ نشان‌دهنده تغییر دما بین دو دوره است). با مدنظر قراردادن معادله (۴) و تعریف روابط $G(T) := \frac{\varphi'(T)}{\varphi(T)}$ و $F(T) := \Delta T = \dot{T}$ و $\Psi(T) + g_A(T)$ معادله (۵) به شرح زیر استخراج می‌شود:

$$g_y = G(T)\Delta T + F(T) \quad (5)$$

بنابراین در یک مدل تجربی باید فرضیه‌های زیر آزمون شود:

- ۱) تغییر ناگهانی در شرایط آب و هوا، ΔT ، تغییر همزمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- ۲) تأثیری که مشروط به شرایط غالب آب و هوایی (گذشته) T است (از طریق $G(T)$).
- ۳) اثر شرایط غالب آب و هوایی T بر تغییرات زودگذر و بلندمدت (از طریق $F(T)$).

۲-۴. مدل ترکیبی (پانل) سالانه

برای سنجش تأثیرگذاری متغیرهای آب و هوا بر تولید اقتصادی، الگوهای زیر مبتنی بر مطالعات قبلی انجام شده توسط دل و همکاران (۲۰۱۲)، بورک و همکاران (۲۰۱۵) و کلکول و ونز (۲۰۲۰) در مدل‌سازی مدنظر قرار گرفته است. علائم و نمادهای قبلی در ادامه انجام مدل‌سازی در این پژوهش به کار گرفته شده است. در حالت کلی $T_{i,t} = (T_{i,t} \cdot P_{i,t})$ به عنوان بردار سطوح متوسط دمای سالانه (سانتی گراد) و مقادیر کل بارندگی سالانه (میلی متر) در سال t در استان i (از این به بعد به عنوان «آب و هوای سالانه» نامیده می‌شود) تعریف می‌شود. برای تعیین فرم‌های تابع در مدل‌های رگرسیون بعدی، خطی‌سازی $G(T) = \alpha + \beta T$ و تابع درجه دوم $F(T) = \gamma_1 T + \gamma_2 T^2$ به عنوان مدل ترجیحی در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، الگوی کلی معادله رگرسیون بر پایه معادله استخراج شده از معادله (۴) به شرح زیر است:

$$g_{it} = \alpha \Delta T_{it} + \beta T_{it} \Delta T_{it} + \gamma T_{it} + \theta T_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

در این رابطه متغیرها و پارامترهای تعریف شده عبارتند از: g_{it} : تغییر لگاریتمی تولید ناخالص داخلی بدون نفت به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ برای استان i ام، T_{it} : بردار معرف شرایط آب و هوای سالانه (بردار میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتی گراد و مقدار کل بارندگی سالانه بر حسب میلی متر در سال t در استان i ام)، $\Delta T_{it} = T_{it} - T_{it-1}$: تغییر شرایط آب و هوا (بارندگی و دما) در سال t نسبت به سال $t-1$ در استان i ام، در ادامه ضمن تفکیک بردار معرف شرایط آب و هوایی به اجزای آن شامل دما و بارش، برای این الگوی کلی، شش مدل تفصیلی به شرح زیر برآورد می‌شود:

مدل اول: مدل کاملاً خطی از تأثیر تغییرات همزمان و با وقفه یک ساله در متغیرهای آب و هوا که ضرایب β ، γ و θ مستثنی شدند و صرفاً تأثیرات خطی را نشان می دهد.

مدل دوم: مدل همزمان خطی و درجه دوم از تأثیر متغیرهای آب و هوا که ضرایب α و β مستثنی شدند.

مدل سوم: برآورد با ویژگی های متقابل و خطی از تأثیر تغییرات همزمان و با وقفه یک ساله در متغیرهای آب و هوا که در این مدل ضریب θ مستثنی شده است.

مدل چهارم: مشابه مدل سوم با این تفاوت که تأثیر تغییرات شرایط آب و هوا درجه دوم نیز به مدل اضافه شده است؛ در این مدل هیچ کدام از ضرایب α ، β ، γ و θ مستثنی نشدند.

مدل پنجم: برگرفته از مدل سوم با این تفاوت که دما و بارش با وقفه در مدل وارد می شوند.

مدل ششم: برگرفته از مدل چهارم است با این تفاوت که دما و بارش با وقفه در مدل وارد می شوند.

۳-۴. مدل تفاضل طولانی

برای سنجش سازگاری تغییرات آب و هوا، میانگین حداقل دو دوره زمانی به تفکیک با دوره اخیر (فراتر از یک سال) مورد بررسی واقع می شوند، مبتنی بر مطالعات بورک و امریک (۲۰۱۶)^۱ و کلکول و ونز (۲۰۲۰) مدل سازی در قالب های زیر انجام شده است. الگوی کلی معادله برپایه معادله (۴) به شرح زیر است:

$$g_i = \alpha \Delta T_i + \beta T_i \Delta T_i + \gamma T_i + \theta T_i^2 + \varepsilon_i \quad (7)$$

g_i : لگاریتم تغییرات در متوسط تولید ناخالص داخلی استان طی دوره، ΔT_i : تغییر میانگین شرایط آب و هوا (بارندگی و دما) طی دوره، T_i : میانگین شرایط آب و هوا (بارندگی و دما) طی دوره که معادله تفصیلی آن پس از تفکیک متغیرهای دما و بارش و درنظر گرفتن سه دوره به تفکیک سال های ۱۳۷۹-۱۳۸۵ و ۱۳۹۲-۱۳۸۶ و ۱۳۹۳-۱۳۹۹ به شکل زیر قابل بازنویسی است:

$$g_{it} = \alpha_1 \Delta T_i + \alpha_2 \Delta P_i + \beta_1 T_i \Delta T_i + \beta_2 P_i \Delta P_i + \gamma_1 T_i + \gamma_2 P_i + \theta_1 T_i^2 + \theta_2 P_i^2 + \varepsilon_i \quad (8)$$

در ادامه برای این الگوی کلی، چهار مدل به شرح زیر برآورد شده است.

مدل اول: مدل با ویژگی های متقابل خطی و درجه دوم از تأثیر تغییرات همزمان در میانگین شرایط آب و هوا طی یک دوره است.

مدل دوم: مشابه مدل اول با این تفاوت که به منظور درنظر گرفتن اثرات همگرایی در رشد اقتصادی، لگاریتم تولید در ابتدای دوره نخست به مدل اضافه شده است.

مدل سوم: برآورد مدل کاملاً خطی از تأثیر تغییر آب و هوا در دوره طولانی بدون اثرات متقابل که در این مدل ضرایب β ، γ و θ در معادله (۷) مستثنی شدند.

مدل های اول تا سوم برای تغییرات بین دوره ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ در مقابل ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ نیز در قالب مدل های چهارم تا ششم نیز برآورد شده است؛ به منظور تخمین مدل ها از نسخه ۱۲ نرم افزار ایویوز^۲ استفاده شده است.

¹ Burke & Emerick

² Eviews

۴-۴. معرفی متغیرها و نحوه گردآوری اطلاعات

اطلاعات مربوط به دما و بارش از اطلاعات واحد تحقیقات آب و هوایی وابسته به دانشگاه انگلیای شرقی^۱ در بریتانیا استخراج شده است؛ همچنین تولید ناخالص داخلی استان‌ها از پایگاه اطلاعاتی مرکز آمار ایران و سایر داده‌های مورد استفاده نیز حسب مورد از مرکز آمار ایران، نقشه‌های رقومی ارتفاع کل کشور در پایگاه جامع هوا و اقلیم‌شناسی ایران و وزارت نیرو استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است. خلاصه آمارهای مربوط به داده‌ها که در مدل سالانه مورد استفاده قرار گرفته در جدول (۱) ارائه شده است؛ بیشترین مقدار تولید ناخالص داخلی بدون نفت به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ مربوط به استان تهران در سال ۱۳۹۹ و کمترین مقدار آن مربوط به استان ایلام در سال ۱۳۷۹ است؛ علاوه بر این، بیشترین سرانه این متغیر متعلق به استان بوشهر در سال ۱۳۹۵ و کمترین آن متعلق به استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۷۹ است.

جدول ۱: خلاصه آمارها- داده‌های ترکیبی سالانه برای استفاده در مدل ترکیبی (پانل) سالانه

Tab. 1: Summary statistics - annual panel data for use in the annual panel model

متغیر	تعداد مشاهدات	میانگین	میان	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	انحراف معیار
تولید ناخالص داخلی بدون نفت به قیمت ثابت (میلیون ریال)	۶۳۰	۱۵۴	۷۷/۴۱۴	۲۰۰۰	۱۱/۵۲۹	۲۶۴
تولید ناخالص داخلی سرانه بدون نفت به قیمت ثابت (میلیون ریال)	۶۳۰	۵۵/۲۵۴	۴۸/۱۹۲	۳۲۹/۹۸۴	۱۷/۴۸۴	۳۳/۳۵۶
تغییر سالانه تولید ناخالص داخلی سرانه بدون نفت به قیمت ثابت (درصد)	۶۰۰	۳/۶۶۸	۲/۹۱۹	۵۶/۳۳۳	-۱۸/۰۸۴	۷/۳۵۳
میانگین سالانه دما (سانتی‌گراد)	۶۳۰	۱۶/۲۴۹	۱۵/۸۸۳	۲۵/۷۰۵	۸/۸۵۶	۴/۲۹۳
تغییر میانگین سالانه دما (سانتی‌گراد)	۶۰۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۲/۱۴۳	-۱/۸۶۶	۰/۸۲۲
کل بارش سالانه (میلی‌متر)	۶۳۰	۲۶۵/۸۶۸	۲۶۳/۸۵۵	۹۴۳/۳۵۷	۲۶/۵۳۴	۱۱۸/۳۶۴
تغییر بارش سالانه (میلی‌متر)	۶۰۰	۳/۴۲۰	۰/۵۷۰	۴۹۱/۲۱۱	-۳۷۶/۸۸۹	۹۰/۶۷۶
تعداد استان	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰

(مأخذ: محاسبات تحقیق).

کمترین میانگین سالانه دما در استان زنجان در سال ۱۳۹۰ با ۸/۸ درجه سانتی‌گراد و بیشترین آن در استان بوشهر در سال ۱۳۹۶ با ۲۵/۷ درجه رخ داده است. بارش سالانه نیز مقدار ۲۶/۵ میلی‌متر در سال ۱۳۸۲ در استان سیستان و بلوچستان کمترین و در سال ۱۳۹۹ در استان گیلان با ۹۴۳/۳ میلی‌متر بالاترین میزان ثبت شده است؛ همچنین به شرح اطلاعات جدول (۲) خلاصه آمار به تفکیک سه دوره زمانی هفت ساله نیز ارائه شده است.

¹ Climate Research Unit (CRU) of the University of East Anglia

جدول ۲: خلاصه آمارها-داده های تفاضل طولانی برای استفاده در مدل تفاضل طولانی

Tab. 2: Summary statistics-long difference data for use in the long difference model

متغیر	تعداد مشاهدات	میانگین	میان	بیشترین مقدار	کمترین مقدار
تغییر در لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه بدون نفت به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ در دوره ۱۳۹۳-۹۹ نسبت به دوره ۸۵-۱۳۷۹	۳۰	۰/۱۹۵	۰/۱۶۲	۰/۷۰۹	۰/۰۷۵
تغییر در لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه بدون نفت به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ در دوره ۱۳۹۳-۹۹ نسبت به دوره ۹۲-۱۳۸۶	۳۰	۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۲۹۱	۰/۰۰۷
میانگین دما در دوره ۸۵-۱۳۷۹ (سانتی گراد)	۳۰	۱۶/۰۵۲	۱۵/۶۹۱	۲۴/۳۸۰	۹/۸۲۵
میانگین دما در دوره ۹۲-۱۳۸۶ (سانتی گراد)	۳۰	۱۶/۰۵۰	۱۵/۶۰۸	۲۴/۴۹۷	۹/۸۵۴
میانگین بارش در دوره ۸۵-۱۳۷۹ (میلی متر)	۳۰	۲۷۴/۳۳۴	۲۹۲/۵۹۳	۴۴۷/۸۰۸	۶۸/۶۶۱
میانگین بارش در دوره ۹۲-۱۳۸۶ (میلی متر)	۳۰	۲۴۵/۹۵۷	۲۵۱/۹۷۵	۳۸۹/۱۲۱	۸۵/۲۶۱
تغییر میانگین دما در دوره ۱۳۹۳-۹۹ نسبت به دوره ۸۵-۱۳۷۹	۳۰	۰/۵۹۲	۰/۶۰۴	۱/۰۱۸	۰/۰۹۲
تغییر میانگین دما در دوره ۱۳۹۳-۹۹ نسبت به دوره ۹۲-۱۳۸۶	۳۰	۰/۵۹۴	۰/۶۰۲	۰/۹۹۲	۰/۲۵۱
تغییر میانگین بارش در دوره ۱۳۹۳-۹۹ نسبت به دوره ۸۵-۱۳۷۹	۳۰	۲/۹۸۱	۰/۵۱۴	۱۰۶/۱۱۲	-۶۶/۹۰۴
تغییر میانگین بارش در دوره ۱۳۹۳-۹۹ نسبت به دوره ۹۲-۱۳۸۶	۳۰	۳۱/۳۵۸	۳۵/۰۶۳	۱۲۳/۳۷۸	-۷/۹۹۴
میانگین ارتفاع از سطح دریا (متر)	۳۰	۱۳۲۱/۲۱۵	۱۳۴۱/۳۵۶	۲۲۹۳/۴۵۲	۳۱۱/۴۷۴
طول رودخانه های دائمی (کیلومتر)	۳۰	۲۵۴۴/۳۶۷	۱۹۹۵	۷۰۷۵	۱۷۲

(مأخذ: محاسبات تحقیق).

بالاترین میانگین دمای سالانه در دوره هفت ساله ۸۵-۱۳۷۹ مربوط به استان هرمزگان با ۲۴/۳۸ درجه سانتی گراد و در دوره ۹۲-۱۳۸۶ مربوط به استان بوشهر با ۲۴/۴ درجه بوده، درحالی که کمترین میانگین دما در هر دو دوره در استان زنجان به وقوع پیوسته است. درمورد وضعیت بارندگی نیز هرچند در استان سیستان و بلوچستان در هر دو دوره کمترین میانگین بارندگی اتفاق افتاده، اما در دوره ۸۵-۱۳۷۹ استان لرستان با ۴۴۷/۸ میلی متر و در دوره ۹۲-۱۳۸۶ استان اردبیل با ۳۸۹/۱ میلی متر بالاترین میانگین بارش را داشتند.

۵. نتایج و بحث

۵-۱. آزمون ها

برای سنجش صحت و قوت مدل های مختلف برای استفاده از داده های ترکیبی، از آماره F استفاده می شود که به F لیمر^۱ مشهور است و این امکان را فراهم می آورد تا از بین رگرسیون تلفیقی^۲ و ترکیبی یکی انتخاب شود. نتایج آزمون لیمر برای شش مدل موردنظر در بخش داده های ترکیبی (پانل) سالانه در جدول (۳) آورده شده است.

^۱ Limer F^۲ Pooled

جدول ۳: نتایج آزمون معنی داری اثرات گروهی برای مدل های ترکیبی (پانل) سالانه

Tab. 3: The results of the significance test of group effects for annual panel models

مدل	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
آماره F	۵۱/۵۵۶۸۰۳	۴۰/۹۴۹۲۸۴	۱۲۹/۵۰۱۸۷۷	۶۴/۶۳۸۳۸۱	۶۸/۷۱۷۴۷۳	۶۵/۹۲۰۹۵۲
سطح احتمال	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

(مأخذ: محاسبات تحقیق).

با مقایسه نتایج و در نظر گرفتن آماره F لیمر، انتخاب روش داده های ترکیبی (اثرات ثابت، اثرات تصادفی)^۱ نسبت به حداقل مربعات معمولی^۲ ارجحیت دارد و فرضیه صفر (H_0) رد و روش ترکیبی انتخاب می شود. [فرض H_0 ، یعنی آزمون فرض یکسان بودن عرض از مبدأها رد شده است]. پس از این که نتیجه عدم استفاده از روش های تلفیقی و یا ترکیبی حاصل شد، با مدنظر قرار گرفتن این که مدل های آثار ثابت و تصادفی دارای تفاوت هایی هستند، ناگزیر باید بین این دو مدل، انتخاب یک روش صورت پذیرد. برای این منظور از آزمون «هاسمن»^۳ استفاده می شود. در آزمون هاسمن، فرضیه صفر این است که هیچ ارتباطی بین جزء اخلاص مربوط به عرض از مبدأ و متغیرهای توضیحی وجود ندارد و مطرح کننده این است که در تخمین معادلات باید اثرات تصادفی را در نظر گرفت. نتایج به دست آمده در آزمون هاسمن (آماره χ^2 در جدول ۴) حاکی از انتخاب اثرات تصادفی برای تخمین هر شش مدل است.

جدول ۴: نتایج آزمون هاسمن برای انتخاب روش در الگوی ترکیبی (پانل) سالانه

Tab. 4: Results of the Hausman test for method selection in the panel annual model

مدل	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
آماره χ^2	۳۳/۴۳۳۶۲۵	۳۹/۹۵۴۹۶۲	۱۳۰/۹۵۷۳۴۷	۱۳۷/۷۳۴۹۴۵	۱۲۱/۰۶۶۵۷۵	۱۲۷/۱۱۸۰۶۷
سطح احتمال	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

(مأخذ: محاسبات تحقیق).

طبق نتایج، به دلیل این که مقدار آماره خی-دو (χ^2) در تمامی تصریح های مورد بررسی، بیش از مقدار بحرانی جدول می باشند، فرضیه صفر مبنی بر وجود اثرات تصادفی رد و فرضیه مقابل مبنی بر وجود اثرات ثابت پذیرفته می شود.

از آنجا که مدل رگرسیونی مورد استفاده در این پژوهش، با استفاده از داده های ترکیبی (پانل) برآورد شده است، لذا برای اطمینان از صحت نتایج حاصل در مراحل بعد، پایایی متغیرهای رگرسیون با استفاده از آزمون های ریشه واحد «لوین» و همکاران^۴ LLC، «ایم» و همکاران^۵ IPS، دیکی فولر تعمیم یافته^۶ ADF و دیکی فولر PP آزمون

^۱ Fixed effects, Random effects^۲ Ordinary Least Square^۳ Hausman^۴ Levin et al.^۵ Im et al.^۶ Augmented Dickey Fuller Test

شده است. نتایج حاصل از تخمین ریشه واحد برای متغیرهای مورد استفاده ناشی از آزمون های مختلف عمدتاً دلالت بر وجود ریشه واحد در سطح اطمینان ۹۹٪ برای متغیرها در سطح دارند؛ از سوی دیگر، فرض وجود ریشه واحد برای تفاضل متغیرهای یادشده، با قدرت رد می شود.

۲-۵. برآورد مدل های سالانه

در ابتدا بر مبنای معادله (۶)، رگرسیون مبتنی بر ساختار داده های ترکیبی (پانل) سالانه اجرا می شود. نتایج به شرح جدول (۵) ارائه شده است. به منظور تصریح مدل های برآورد شده مبنی بر این که آیا تخمین های انجام گرفته توانسته است با متغیرهای مستقل به درستی و جامع، متغیر وابسته را توضیح دهد؛ و این که از دقت برآوردها در تخمین مدل مطمئن باشیم و اطمینان نسبی از دسترسی به مدل بهینه، مبتنی بر فروض کلاسیک و افزودن متغیرها به مدل در چارچوب مبانی نظری این مطالعه، حسب مورد آزمون های لازم انجام شد. نتایج بیان گر این است که متغیرهای مستقل، بهترین توضیح را برای متغیر وابسته ارائه دادند و اغلب آن ها در سطح معنی داری قابل قبولی قرار گرفتند. به شرح اطلاعات جدول (۵)؛ مدل (۱) برآورد رابطه خطی از تغییرات دما و بارش شامل تغییرات همزمان و وقفه یک ساله است. در این مدل، صرفاً اثرات فوری (آنی) خطی تولید را از طریق تغییر آب و هوا ارائه می کند که در بخش نخست معادله (۴) مشخص شده است. هر چهار متغیر در سطح ۹۹٪ معنی دار می باشند که بیانگر اثر منفی تغییرات دما و بارش همزمان و با تأخیر یک ساله بر تولید استان های ایران است؛ هرچند مقدار این ضرایب بسیار کم است (به ستون ۱ در جدول ۵ مراجعه شود).

در مدل (۲) تأثیر همزمان خطی و درجه دوم متغیرهای دما و بارش بر تولید نشان داده شده است. در این مدل، کانال تأثیرگذاری فوری (آنی) نادیده گرفته شده و اتکاء بر تأثیرگذاری کانال های (۲) و (۳) معادله (۴) یعنی اثرات زودگذر (ناپایدار) و رشد متعادل است. تأثیر قابل توجه هر چهار متغیر نشان می دهد تغییر دما و بارش بر تولید اقتصادی زودگذر (ناپایدار) و رشد بلندمدت متعادل از طریق معادلات $\psi(T)$ و $g_A(T)$ در معادله (۴) تأثیرگذار است. با این حال، هنگامی که سطوح دما و بارش درجه دوم در مدل های بعدی با شرایط اثرات متقابل در نظر گرفته می شوند (مدل های ۴ و ۶)، ضرایب بدون وقفه دما و درجه دوم آن معنی دار نیستند؛ درحالی که ضرایب با وقفه یک ساله دما با معنی داری در سطح ۹۹٪ در مدل (۶) مواجه است؛ هرچند این موضوع برای بارش وجود ندارد و در نظر گرفتن سطوح بارش و درجه دوم آن در مدل های با اثرات متقابل با معنی داری همراه نیست، می توان ادعا کرد اثر بلندمدتی بین سطوح بارش با تغییرات تولید برخلاف سطوح دما برقرار نیست که می تواند ناشی از دو موضوع ارزیابی شود؛ این که سطوح بارش تأثیر خود را در کوتاه مدت در اقتصاد ایران، به ویژه از طریق تأثیر بر بخش کشاورزی نشان می دهد تا سایر بخش ها یا این که دامنه بررسی بیش از دو دهه که در این پژوهش مدنظر بوده است، زمان کافی برای سنجش این تأثیرپذیری را طبق این الگوها در اقتصاد ایران فراهم نمی کند.

در برآوردهای مبتنی بر مدل های (۳) تا (۶)، تأخیرهای همزمان و با وقفه یک ساله در تغییرات دما و بارش مدنظر قرار گرفته است؛ هرچند این مدل ها با تأخیر بیشتر نیز برآورد شدند، اما تغییرات با تأخیر یک ساله، ضریب تعیین تعدیل یافته ($\bar{R}^2$) را افزایش می دهد؛ درحالی که افزودن تأخیرهای بیشتر، اثرات بسیار جزئی و قابل اغماض بر این شاخص دارد. بررسی تکمیلی مشخص نمود. در مدل های پیش رو ضریب دمای همزمان و تأخیری معنی دار

است، اما ضرایب هم‌زمان و تأخیری بارش در موارد محدودی با معنی‌داری همراه است؛ البته درخصوص هر دو متغیر دما و بارش، تأخیرهای بیشتر از یک‌سال، معنی‌دار نیست یا به‌ندرت معنی‌دار می‌شوند. این موضوع بیانگر این است که معمولاً اثرات زودگذر (ناپایدار) تا دو سال طول می‌کشد و در طول زمان به مرور ضعیف‌تر شده و از نظر آماری ناچیز و اندک می‌شوند یا در تحلیل دیگر می‌توان به سازگاری این تغییرات در بخش‌های اقتصاد ایران پس از دو سال اشاره داشت.

در مدل (۳) هرچند ضرایب دما و بارش هم‌زمان معنی‌دار نمی‌باشند، اما ضرایب متقابل هم درخصوص دما و هم بارش با معنی‌داری بالایی همراه است؛ به عبارت بهتر، اثرات متقابل هم‌زمان و با تأخیر یک‌ساله دما در سطح بالای ۹۹٪ و با تأثیرگذاری معکوس معنی‌دار است؛ درحالی‌که این اثر برای بارش صرفاً درخصوص اثر هم‌زمان با علامت مثبت معنی‌دار است و برای وقفه یک‌ساله با معنی‌داری همراه نیست. مدل (۴) که درواقع تکمیل‌شده مدل (۳) است، بیانگر این است که با افزودن شرایط آب و هوایی درجه دوم، تقریباً همه متغیرهای مدل بی‌معنی می‌شوند و صرفاً اثرات متقابل تأخیری دما در سطح ۹۵٪ با علامت منفی معنی‌دار است. مدل‌های (۵) و (۶) همان مدل‌های برآورد شده در الگوهای (۳) و (۴) است که در آن از وقفه دما و بارش برای T_{it} استفاده شده است. در این الگوها، تأخیرهای مختلفی برای T_{it} و ΔT_{it} هم برای دما و هم بارش در نظر گرفته شد که تغییرات آب و هوا مشروط به دمای سال‌های قبل و اثرات نرخ رشد براساس دمای سال‌های قبلی محاسبه شده است. در مدل (۵) معنی‌داری اثرات تغییرات بارش نسبت به اثرات تغییرات دما بر تولید کمتر است؛ با این حال، یک اثر منفی قابل توجه از تغییرات باوقه دما بر تولید قابل مشاهده است و اثر مثبت درخصوص تغییرات باوقه بارش قابل استخراج است. تغییرات در بارش منجر به تأثیر مثبت تولیدات استان‌های ایران در سال بعد می‌شود که با مدنظر قراردادن وابستگی غالب اقتصاد به بخش کشاورزی و تأثیرپذیری تولیدات استان‌ها از این بخش و سایر بخش‌هایی که مستقیماً با این بخش درحال مبادله هستند، این نتیجه دور از انتظار نیست، ازجمله این که معمولاً با تغییر مثبت بارش، به دلیل انتظارات مثبت خروج از خشکسالی، در سال بعد مساحت زیرکشت محصولات دیم افزایش می‌یابد؛ هرچند شواهدی برای اثرات رشد مداوم طبق الگوها پیدا نشد اما مدل انتخابی، اثرات نهایی بالاتر دما را نسبت به مدل‌های بورک و همکاران (۲۰۱۵) و کلکول و ونز (۲۰۲۰) گزارش می‌کند.

جدول ۵: نتایج برآورد مدل‌های ترکیبی (پانل) سالانه به تفکیک شش الگوی موردنظر

Tab. 5: The estimation results of annual combined models panel by separating the six desired patterns

	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
ΔT	-۰/۰۰۵۴۵*** (-۵/۸۴۸۶۹)		-۰/۰۰۹۴۳* (-۱/۷۶۶۲۲)	-۰/۰۰۵۷۶ (-۰/۲۷۲۷۵)	۰/۰۲۲۹۸*** (۳/۶۵۶۰۹)	۰/۰۲۶۸۹*** (۴/۰۸۳۲۷)
$L\Delta T$	-۰/۰۰۵۰۳*** (-۵/۰۷۵۸۰)		۰/۰۰۰۲۹ (۰/۰۶۸۸۵)	۰/۰۰۶۰۰ (۰/۶۲۸۲۶)	۰/۰۰۹۴۰ (۱/۵۳۳۷۶)	-۰/۰۱۳۰۹*** (-۷/۴۴۷۳۰)
$T \times \Delta T$			-۰/۰۰۱۰۸*** (-۳/۹۲۴۹۳)	-۰/۰۰۱۱۷ (-۰/۸۳۷۱۰)	-۰/۰۰۱۵۵*** (-۳/۷۰۸۲۸)	-۰/۰۰۱۷۴*** (-۳/۹۶۳۴۰)
$T \times L\Delta T$			-۰/۰۰۰۹۳*** (-۳/۳۳۲۶۷)	-۰/۰۰۱۲۶** (-۱/۹۲۲۹۵)	-۰/۰۰۱۴۵*** (-۳/۴۸۵۸۴)	

T	۰/۰۰۹۵۰*	۰/۰۲۵۵۶***	۰/۰۲۸۶۴	۰/۰۲۲۵۰***	۰/۰۶۶۱۱***
	(۱/۷۱۲۱۷)	(۵/۱۶۴۲۴)	(۰/۹۸۲۰۰)	(۳/۲۰۳۲۸)	(۵/۰۷۱۳۹)
T ²	-۰/۰۰۰۵۲***		-۰/۰۰۰۲۲		-۰/۰۰۱۳۴***
	(-۲/۸۸۴۴۵)		(-۰/۲۳۲۷۲)		(-۳/۳۲۵۳۰)
ΔP	-۰/۰۰۰۰۳***	-۰/۰۰۰۱۳***	-۰/۰۰۰۰۹۲	-۰/۰۰۰۱۱**	-۰/۰۰۰۰۵۵
	(-۳/۸۷۲۹۲)	(-۴/۳۸۹۲۵)	(-۰/۹۸۸۲۷)	(-۲/۳۹۸۳۱)	(-۱/۳۵۷۴۳)
LΔP	-۰/۰۰۰۰۲***	-۰/۰۰۰۰۶۶**	-۰/۰۰۰۰۷۴	-۰/۰۰۰۱۳***	-۰/۰۰۰۰۵***
	(-۲/۷۰۳۴۰)	(-۲/۳۵۱۱۸)	(-۱/۴۲۳۳۱)	(-۳/۰۵۷۲۳)	(-۳/۶۲۵۸۶)
P × ΔP		۰/۰۰۰۰۰۱***	-۰/۰۰۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۰۱
		(۲/۸۲۱۸۰)	(-۰/۰۴۲۱۲)	(۲/۰۸۸۹۷)	(۰/۹۶۹۵۰)
P × LΔP		۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۰۰۰۱۷*	
		(۰/۴۳۸۳۳)	(۰/۱۳۳۹۸)	(۱/۷۲۳۲۸)	
P	-۰/۰۰۰۱۸***	۰/۰۰۰۰۴۳	-۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۰۰۵۵
	(-۵/۱۷۸۹۰)	(۱/۱۹۷۳۷)	(-۰/۴۱۶۳۶)	(۱/۳۱۶۹۳)	(۰/۶۷۴۰۳)
P ²	۰/۰۰۰۰۰۱***		۰/۰۰۰۰۰۰۱		۰/۰۰۰۰۰۰۳
	(۳/۷۷۳۳۴)		(۰/۷۷۸۷۰)		(۰/۲۸۹۹۹)
مشاهدات	۵۴۰	۶۰۰	۵۴۰	۵۴۰	۵۴۰
آب و هوا	ندارد	همزمان	همزمان	همزمان	با وقفه
سال ها	۱۳۷۹-۹۹	۱۳۷۹-۹۹	۱۳۷۹-۹۹	۱۳۷۹-۹۹	۱۳۷۹-۹۹
اثرات ثابت	استان	استان	استان	استان	استان

آماره t داخل پرانتز درج شده است. * P < 0.10 و ** P < 0.05 و *** P < 0.01 (منبع: محاسبات تحقیق).

۳-۵. برآورد مدل های تفاضل طولانی

با عنایت به عدم امکان جداسازی اثرات زودگذر با رشد متعادل در مدل های ترکیبی سالانه و تخمین تأثیرات این دو به طور مشترک، به منظور تفکیک این اثرات نیاز به الگوسازی متفاوتی است؛ علاوه بر این، در مدل های ترکیبی (پانل) سالانه از تغییر آب و هوای سالانه استان ها استفاده می شود و همچنین اثرات ثابت استان ها، شرایط آب و هوایی بلندمدت و تغییرات آن را تحلیل می کند که بررسی این تغییرات به درک تأثیر گرمایش تدریجی استان ها مرتبط است؛ به عبارت دیگر، مدل های ترکیبی سالانه ممکن است بسیاری از سرمایه گذاری های انجام گرفته برای سازگاری و یا پاسخ گویی به تغییرات تدریجی اقلیم را دست کم بگیرد و این گونه سرمایه گذاری ها ممکن است در آن مدنظر قرار نگیرد. یکی از راهکارهای رفع این مشکل و غلبه بر این محدودیت، بهره گیری از رگرسیون مقطعی مربوط به تغییر تولید در دوره های زمانی طولانی تر از یک سال است؛ به طوری که بورک و امریک (۲۰۱۶) و کلکول و ونز (۲۰۲۰) در مطالعات خود، این شیوه بررسی و تحلیل را تحت عنوان -مدل تفاضل طولانی- به کار بردند. اساساً این الگو همان رگرسیون تعمیم یافته با رویکرد تفاضل طولانی است که ابتدا توسط بورک و امریک پیشنهاد شده و سپس توسط کلکول و ونز ضرایب β ، γ_1 و γ_2 به مدل اضافه شده است. مدل تفاضل طولانی پیشنهادی برای این برآوردها، الگوی معرفی شده در معادله (۸) است. با توجه به اطلاعات موجود برای متغیرهای موردنظر در این پژوهش و نظر به این که قرار است مقایسه تطبیقی برای اطلاعات موردنظر در حداقل سه مقطع زمانی طولانی برای مقایسه انجام شود، با توجه به داده های در دسترس، حداکثر تعداد سال هایی که در سه دوره برای مقایسه دوره سوم با دو دوره قبل امکان پذیر است، هفت سال می باشد؛ لذا دوره های زمانی هفت ساله مبنای انتخاب و تحلیل

قرار گرفت و مشابه رگرسیون ترکیبی (پانل)، شرایط آب و هوایی در نظر گرفته می‌شود که در آن T_i به سطوح دما و بارش در دوره قبل اشاره دارد. همچنین ضرایب α و β چگونگی تغییر در تولید اقتصادی سرانه را با شرایط آب و هوایی مورد تخمین قرار می‌دهند. برخلاف مدل ترکیبی (پانل) سالانه، انتظار می‌رود اثر زودگذر در مدل تفاضل طولانی به دلیل این که دوره‌های زمانی طولانی‌تر از یک سال در نظر گرفته شده است، به طور نسبی کمتر باشد؛ بنابراین ضرایب γ_1 و γ_2 به عنوان ضرایبی تفسیر خواهند شد که نشان می‌دهند چگونه تغییر بلندمدت تولید، یعنی همان مسیر رشد تعادلی، تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قرار می‌گیرد.

متغیرهای انتخاب شده به عنوان متغیرهای کمکی استانی باتوجه به موقعیت و برخورداری از منابعی که ممکن است بر تولید تأثیرگذار باشد، در X_1 در نظر گرفته شده است؛ علاوه بر این، بر مبنای مدل گزینش شده در داده‌های ترکیبی (پانل) سالانه، اثرات ثابت استان‌ها استخراج و در مدل مقطعی وارد شد که در هیچ کدام از الگوها معنی‌دار نشد و به همین دلیل از معادلات حذف گردید؛ همچنین به تبعیت از مطالعه انجام شده توسط کلکول و ونز (۲۰۲۰)، طول نوار ساحلی دریایی به تفکیک استان‌ها نیز استخراج شد (در هفت استان ساحلی) اما متغیر مربوط در مدل‌های برآورد شده با معنی‌داری مواجه نشد و از مدل حذف گردید.

نتایج برآوردها به تفکیک در جدول (۶) ارائه شده است. ستون‌های (۱) تا (۳) به مدل‌هایی اشاره دارد که در آن تغییرات دوره ۹۹-۱۳۹۳ نسبت به دوره ۸۵-۱۳۷۹ ارائه شده و ستون‌های (۴) تا (۶) نیز نتایج تخمین را برای تغییرات بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۹۲-۱۳۸۶ نشان می‌دهد. باتوجه به این که رگرسیون‌های مقطعی رشد به طور قوی نشان می‌دهد، به دلیل اثرات رشد همگرایی، رشد به طور منفی با سطوح اولیه تولید ناخالص داخلی مرتبط است؛ یعنی در مفهوم کلی، کشورهای فقیرتر تمایل دارند با نرخ‌های رشد سریع‌تری نسبت به اقتصادهای ثروتمندتر رشد کنند (منکیو و همکاران، ۱۹۹۲)^۱. بر این اساس مدل‌های (۲) و (۵) شامل عبارتی تحت عنوان لگاریتم تولید اولیه مربوط به سال آغازین دوره مورد بررسی، است. این عبارت برای مدنظر قرار دادن اثرات رشد همگرایی به مدل اضافه شده و ضرایب مربوط به این متغیر از جمله ضرایب مهم در این برآوردها هستند. این ضریب برای مقایسه دوره ۹۹-۱۳۹۳ نسبت به دوره ۸۵-۱۳۷۹ معنی‌دار نبوده، اما برای تغییرات بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۹۲-۱۳۸۶ در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است.

طبق نتایج، هرچند ضریب دما در مدل‌های برآورد شده معنی‌دار نیست، اما شواهد حاکی از تأثیرگذاری تغییرات دمای متوسط دوره هفت‌ساله نسبت به دو دوره قبل از آن است؛ در حالی که شواهدی مبنی بر تأثیرگذاری این شرایط برای یک دوره قبل مشاهده نمی‌شود. بر این اساس، می‌توان استدلال نمود نه تنها تغییر شرایط آب و هوا به مرور انطباق و سازگاری به همراه نداشته؛ بلکه این تغییر در حالتی که متأثر از تغییر دما باشد، با تأثیرگذاری بیشتری در دوره‌های بعدی همراه است و اثرات آن در دوره‌های طولانی‌تر خود را نشان خواهد داد. بررسی تکمیلی مؤید آن است که هرچند تغییر میانگین دمای سالانه بین دو دوره تقریباً یکسان است در دوره نخست میانگین دمای سالانه استان‌ها ۱۶/۰۵۲ درجه و در دوره میانی ۱۶/۰۵۰ درجه (تغییرات دما بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۸۵-۱۳۷۹ در حدود افزایش ۰/۵۹۲ درجه سانتی‌گراد و بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۹۲-۱۳۸۶ افزایش در حدود ۰/۵۹۴ درجه

^۱ Mankiw et al.

سانتی گراد) اما تأثیرگذاری تغییر دما بر تغییر تولید در مقایسه با دوره قدیمی تر با شواهد بیشتری همراه است. این موضوع احتمال این که تغییر اندک دما بین دو دوره در تأثیرگذاری این تفاوت نقش دارد را رد می کند؛ بنابراین به جز ضریب دما، سایر ضرایب مربوط به دما شامل تغییرات دما ΔT_i ، اثرات متقابل $T_{i,t-1} \times \Delta T_i$ و مجذور دما T_i^2 بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۸۵-۱۳۷۹ در سطح ۹۹٪ معنی دار هستند و این موضوع شواهد مناسبی را برای اثبات تأثیرگذاری رگرسیون های با تفاضل طولانی در ارائه اثرات تغییرات بلندمدت ناشی از شرایط آب و هوا بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۸۵-۱۳۷۹ نشان می دهد.

تحلیل نتایج به دست آمده درمورد بارندگی، وضعیت به نسبت متفاوتی را نسبت به دما ارائه می کند؛ به این ترتیب که کلیه ضرایب بارندگی P_i ، تغییرات بارندگی ΔP_{it} ، اثرات متقابل بارندگی $P_{i,t-1} \times \Delta P_i$ و مجذور بارندگی P_i^2 برای مقایسه بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۸۵-۱۳۷۹ در سطح بالا معنی دار است، درحالی که برای مقایسه بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۱۳۸۶-۹۲ در برخی موارد این ضرایب معنی دار نیستند. این موضوع نیز تأثیرگذاری تغییر شرایط آب و هوا را در دوره طولانی تر گواهی می کند؛ به عبارت دیگر، تغییر بارندگی، قدرت تأثیرگذاری بیشتری در دوره های طولانی مدت تر به همراه دارد؛ هرچند برخلاف دما، تأثیرگذاری آن در دوره های زمانی کوتاه تر نیز رد نمی شود.

جدول ۶: نتایج برآورد مدل های تفاضل طولانی به تفکیک سه الگوی موردنظر

Tab. 6: Estimation results of long difference models by separating the three desired models

	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
ΔT	۱/۹۶۷۲۲*** (۲/۵۷۶۱۲)	۱/۹۱۸۰۹** (۲/۵۴۴۸۴)	۰/۰۸۶۳۰** (۲/۵۶۳۷۲)	۰/۲۴۸۴۵ (۰/۹۸۹۹۳)	-۰/۲۳۱۲۱ (-۰/۵۷۵۳۷)	۰/۱۸۶۱۰*** (۳/۳۵۱۶۶)
$T \times \Delta T$	-۰/۱۸۴۲۱*** (-۲/۸۵۵۰۶)	-۰/۱۸۰۲۴*** (-۰/۲۸۳۰۶۶)		-۰/۰۲۶۵۴ (-۱/۴۳۸۳۸)	۰/۰۰۵۸۴ (۰/۲۲۵۳۷)	
T	۰/۰۲۳۰۲ (۰/۴۵۶۱۵)	۰/۰۱۰۴۷ (۰/۲۰۶۳۵)		۰/۰۲۹۷۴ (۱/۲۶۸۵۹)	-۰/۰۲۲۲۹ (-۰/۶۳۳۳۵)	
T^2	۰/۰۰۷۰۴*** (۲/۸۰۴۰۰)	۰/۰۰۷۰۶*** (۲/۸۵۱۱۴)		۰/۰۰۰۰۹۸ (۰/۱۴۹۱۴)	۰/۰۰۱۵۰* (۱/۸۸۴۶۶)	
ΔP	-۰/۰۰۸۸۰** (-۲/۳۸۹۴۶)	-۰/۰۰۸۲۶** (-۲/۲۶۰۱۳)	-۰/۰۰۲۴۶*** (-۲/۴۶۹۹۳)	-۰/۰۰۲۹۸ (-۰/۸۶۱۲۴)	-۰/۰۱۲۵۵*** (-۳/۵۳۴۰۵)	-۰/۰۰۱۳۷** (-۲/۰۷۴۶۰)
$P \times \Delta P$	۰/۰۰۰۰۳۷*** (۲/۸۸۸۵۷)	۰/۰۰۰۰۳۴*** (۲/۶۲۳۴۷)		۰/۰۰۰۰۱۰ (۰/۸۲۸۱۶)	۰/۰۰۰۰۵۰*** (۳/۳۳۲۷۳)	
P	۰/۰۱۵۲۹*** (۳/۵۴۸۷۸)	۰/۰۱۵۴۴*** (۳/۶۳۲۷۹)		۰/۰۰۲۸۳** (۲/۵۳۶۳۲)	۰/۰۰۳۷۹*** (۲/۹۷۱۲۴)	
P^2	-۰/۰۰۰۰۱۹*** (-۳/۳۶۰۹۷)	-۰/۰۰۰۰۲۰*** (-۳/۵۳۸۱۳)		-۰/۰۰۰۰۰۴۳* (-۱/۹۲۰۵۶)	-۰/۰۰۰۰۰۸۰*** (-۲/۶۱۶۱۵)	
لگاریتم GRP اولیه		-۰/۰۰۲۲۴ (-۱/۲۴۷۷۲)			۰/۲۲۱۹۸** (۲/۳۷۰۱۲)	

میانگین ارتفاع از سطح دریا	۱/۲۶۱۹۶*** (۳/۵۸۸۲۳)	۱/۱۷۲۲۳*** (۳/۳۱۱۰۷)	-۰/۱۶۳۷۰*** (-۳/۲۰۴۸۳)	۰/۰۲۱۹۶ (۰/۱۸۱۷۳)	۰/۲۸۳۶۴*** (۲/۲۰۰۹۲)	-۰/۱۳۹۶۰** (-۲/۱۴۳۶۲)
مجموع طول رودخانه‌های دائمی	۰/۴۶۴۵۴*** (-۸/۷۳۱۷۲)	-۰/۴۴۶۶۰*** (-۸/۲۱۳۵۵)	-۰/۰۰۰۸۳ (-۰/۰۵۰۹۸)	-۰/۰۶۹۹۲** (-۲/۲۱۳۵۴)	-۰/۱۳۲۹۶*** (-۴/۲۷۵۴۴)	-۰/۰۲۸۹۷ (-۱/۲۳۷۲۶)
دوره‌ها	۱۳۹۳-۹۹ درمقابل ۱۳۷۹-۸۵	۱۳۹۳-۹۹ درمقابل ۱۳۷۹-۸۵	۱۳۹۳-۹۹ درمقابل ۱۳۷۹-۸۵	۱۳۹۳-۹۹ درمقابل ۱۳۸۶-۹۲	۱۳۹۳-۹۹ درمقابل ۱۳۸۶-۹۲	۱۳۹۳-۹۹ درمقابل ۱۳۸۶-۹۲
مدت (سال)	۷ سال	۷ سال	۷ سال	۷ سال	۷ سال	۷ سال
وقفه (دوره)	۲	۲	۲	۱	۱	۱

آماره t داخل پرانتز درج شده است. *** P < 0.01 و ** P < 0.05 و * P < 0.10
(منبع: محاسبات تحقیق).

۶. نتیجه‌گیری

درک ابعاد مختلف تأثیر اقتصادی و اجتماعی تغییر شرایط آب و هوایی، هرچند یک گام پیچیده است، اما در تدوین توصیه‌های سیاستی کاربردی و صحیح در ابعاد فراملی، ملی و محلی ضروری به‌نظر می‌رسد. این زمینه مطالعاتی با هدف بهبود تخمین‌های مربوط به آسیب‌های حاصل از تغییر شرایط آب و هوا، بستر روبه توسعه‌ای را برای تجزیه و تحلیل فراهم آورده است و در دو دهه اخیر مطالعات اقتصادسنجی متعددی به چگونگی تأثیر نوسانات دما و بارش بر نتایج مختلف اقتصادی و اجتماعی برای ارزیابی تأثیر گرم‌شدن آینده زمین بر اقتصاد یا بخش‌های خاصی در اقتصاد در جوامع محلی یا فراملی پرداختند؛ با این حال، ابزارهای اقتصادسنجی فعلی مورد استفاده برای بررسی تأثیر اقتصادی آب و هوا در مواردی با عدم قطعیت مربوط به مدل‌های تجربی به کار گرفته شده و نمونه‌گیری در داده‌های مورد استفاده، مواجه هستند. در این پژوهش، ضمن تمرکز بر عدم قطعیت مدل‌های رایج، پژوهش در سطح استانی در ایران که با ناهمگونی قابل توجهی در اقلیم و شرایط آب و هوا و سطوح توسعه یافتگی مواجه است، به پیشرفت این زمینه مطالعاتی کمک شده است؛ همچنین با استفاده از یک مجموعه جامع از داده‌های فعالیت اقتصادی در سطح استان‌ها با پوشش کامل در سطح ملی، به تجزیه و تحلیل رابطه بین تولید اقتصادی و شرایط آب و هوا در مقیاس‌های زمانی مختلف پرداخته شده است.

نتایج این پژوهش همسو با مطالعات نیول و همکاران (۲۰۲۱) و اولپر و همکاران (۲۰۲۱) عدم قطعیت قابل توجه مدل‌های فعلی را تأیید می‌کند؛ با این حال، انتخاب براساس ابزارهای اقتصادسنجی استانداردتر (یعنی اهمیت متغیرهای دما و بارش و اثرات خطی در مقابل غیرخطی) نشان می‌دهند اثر منفی تغییرات دما و بارش هم‌زمان و با تأخیر یک‌ساله بر تولید استان‌های ایران وجود دارد؛ هرچند مقدار این ضرایب بسیار کم است. علاوه بر این، تغییر دما و بارش بر تولید زودگذر (ناپایدار) و رشد بلندمدت متعادل نیز تأثیرگذار است؛ با این حال، می‌توان ادعا کرد اثر بلندمدتی بین سطوح بارش با تغییرات تولید برخلاف سطوح دما برقرار نیست. همچنین معمولاً اثرات زودگذر (ناپایدار) دما و بارش بر تولید تا دو سال طول می‌کشد و در طول زمان به مرور ضعیف‌تر شده و از نظر آماری ناچیز و اندک می‌شوند. در مدل‌های توسعه داده شده مشخص گردید؛ معنی‌داری اثرات تغییر بارش نسبت به تغییر دما

بر تولید کمتر است؛ به عبارت دیگر، بخش های اقتصادی در استان ها نسبت به دما وابستگی بالاتری دارند تا بارش، که از دلایل آن می توان قدرت تأثیرگذاری نوسانات دما بر سایر بخش ها فراتر از بخش کشاورزی، از جمله بخش های خدمات، مسکن، ساختمان، انرژی، صنعت و غیره نسبت به بارش اشاره داشت؛ با این حال، یک اثر منفی قابل توجه از تغییرات باوقفه دما بر تولید قابل مشاهده است و اثر مثبت درخصوص تغییرات باوقفه بارش قابل استخراج است. هرچند شواهدی برای اثرات رشد مداوم طبق الگوها پیدا نشد، اما اثرات نهایی بالاتر دما نسبت به مدل های بورک و همکاران (۲۰۱۵) و کلکول و ونز (۲۰۲۰) گزارش می شود.

با بهره گیری از رگرسیون تفاضل طولانی به منظور بررسی این که آیا نتایج حاصل از مدل ترکیبی (پانل) سالانه به مقیاس های زمانی طولانی تر نیز قابل تعمیم است یا خیر؟ شواهدی مبنی بر تأثیرگذاری سطح دما (یا میزان بارندگی) بر تولید استان ها در دوره های طولانی یافت نشد. این نکته از این حیث درخور توجه است که بخش های اقتصادی در ایران، به ویژه در دوره های بلندمدت، بیشتر متأثر از انتظارات ناشی از تغییرات دما یا تغییرات بارش هستند تا سطح این متغیرها؛ به عبارت دیگر، می توان ادعا کرد انتظارات شکل گرفته و یا تغییر وضعیت نسبت به دوره های قبل، قابلیت تأثیرگذاری بیشتری بر تصمیم فعالان اقتصادی و تولید در ایران را دارند. در این زمینه نتایج مشخص نمود، نه تنها تغییر شرایط آب و هوا به مرور انطباق و سازگاری به همراه نداشته، بلکه این تغییر در حالتی که متأثر از تغییر دما باشد، با تأثیرگذاری بیشتری در دوره های بعدی همراه است و اثرات آن در دوره های طولانی تر خود را نشان خواهد داد. بررسی تکمیلی شواهد مناسبی را برای اثبات تأثیرگذاری رگرسیون های با تفاضل طولانی در ارائه اثرات تغییرات بلندمدت ناشی از شرایط آب و هوا بین دوره ۹۹-۱۳۹۳ با دوره ۸۵-۱۳۷۹ نشان می دهد؛ هرچند تحلیل نتایج به دست آمده درمورد بارندگی، وضعیت به نسبت متفاوتی را نسبت به دما ارائه می کند و تأثیرگذاری تغییر شرایط آب و هوا را در دوره طولانی تر گواهی می کند؛ به عبارت دیگر، تغییر بارندگی، قدرت تأثیرگذاری بیشتری در دوره های طولانی مدت تر به همراه دارد؛ هرچند برخلاف دما، تأثیرگذاری آن در دوره های زمانی کوتاه تر نیز رد نمی شود.

در تجزیه و تحلیل انجام گرفته در این پژوهش، هم چنان برخی نکات وجود دارد که توجه به آن در مطالعات مربوط ضروری است؛ نخست این که با توجه به عدم قطعیت در مدل ها، نتایج به دست آمده، به ویژه در تفسیر اندازه تخمین تغییرات آب و هوای آینده باید با احتیاط مدنظر قرار گیرد. دوم این که تا چه حد این توابع واقعاً تأثیر آب و هوا و نه فقط تغییرات آب و هوای کوتاه مدت را منعکس می کنند.

پیشنهاد می شود تجزیه و تحلیل های تجربی در مطالعات آینده علاوه بر گسترش مدل ها در راستای دستیابی به مدل سازی صریح و سازگار مبتنی بر تئوری موجود به منظور تمایز بهتر بین اثرات رشد در مقابل اثرات سطح در راستای سنجش اثرات کوتاه مدت در مقابل اثرات بلندمدت نیز توسعه یابند. بدیهی است تکامل مدل سازی و بررسی های تجربی جدید قادر خواهد بود، تفکیک تأثیرات آب و هوا و نه فقط تغییرات آب و هوا را به نحو مناسب تری به تصویر بکشد. علاوه بر این، باتوجه به این که تجزیه و تحلیل انجام شده در این پژوهش مبتنی بر سوابق گذشته آب و هوا است؛ بنابراین نمی تواند رویدادهای شدید بالقوه ای که خارج از این محدوده واقع می شوند، اما ممکن است توسط تغییرات آب و هوایی سال های آینده ایجاد شوند را ثبت کند. هم چنین مدنظر قرار دادن اصول ملاحظات اقلیمی و پیامدهای ناشی از تغییرات آب و هوایی در فرآیند توسعه اقتصادی کشور در ابعاد ملی و محلی و به طور

مشخص ورود آن در قوانین به منظور نهادینه سازی محدودیت های پیش رو در راهبردهای ملی توسعه پایدار کشور در کنار تدوین بسته های سیاستی شامل اقدامات مقابله ای و سازگاری با پدیده تغییر اقلیم ضرورت دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان برخود لازم می دانند از دست اندرکاران و داوران فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران برای بهبود و غنی سازی متن مقاله تشکر و قدردانی کنند.

درصد مشارکت نویسندگان

نویسندگان اعلام می دارند با توجه به این که این مقاله از رساله دکتری استخراج شده است، نگارش مقاله برعهده نویسنده اول و راهنمایی آن بر عهده نویسندگان دوم و سوم قرار داشته است.

تضاد منافع

نویسندگان با رعایت اصول اخلاقی انتشار در ارجاع، نبود تضاد منافع را اعلام می دارند.

کتابنامه

- اکبری، محمدرضا؛ پیش بهار، اسماعیل؛ و دشتی، قادر، (۱۳۹۹). «شناسایی عوامل موثر بر ناامنی غذایی خانوارهای روستایی ایران: کاربرد الگوی لاجیت تربیتی تعمیم یافته». *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۹ (۳۵): ۹۱-۱۲۵. <https://doi.org/10.22084/aes.2020.21656.3058>
- بهرامی، علی، (۱۴۰۰). «اثر تغییر اقلیم بر رشد اقتصادی». *دوازدهمین کنفرانس ملی اقتصاد کشاورزی*، دانشگاه کردستان، سنج. <https://civilica.com/doc/1798470>
- جعفری، شایسته؛ جلالی نسب، محمد؛ و ایروانی، هوشنگ، (۱۳۹۳). «ارزیابی اثرات اقتصادی تغییر اقلیم در بخش کشاورزی». *همایش ملی تغییر اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی*، همدان. <https://civilica.com/doc/282442>
- خالقی، سعیده؛ بزازان، فاطمه؛ و مدنی، شیماء، (۱۳۹۴). «اثر تغییر اقلیم بر تولید بخش کشاورزی و بر اقتصاد ایران (رویکرد ماتریس حسابداری اجتماعی)». *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۷ (۲۵): ۱۱۳-۱۳۵. [dor: 20.1001.1.20086407.1394.7.25.6.1](https://doi.org/10.22084/aes.2022.25884.3418)
- سالم، علی اصغر؛ و جباری، لیلا، (۱۴۰۱). «بررسی اثر بلایای طبیعی بر الگوی مصرف خانوار در ایران با استفاده از مدل تفاضل در تفاضل». *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۱۱ (۴۲): ۴۷-۸۲. <https://doi.org/10.22084/aes.2022.25884.3418>
- سلیمانی نژاد، س.؛ دوراندیش، الف.؛ و نیکوکار، الف.، (۱۳۹۵). «شناسایی عوامل اقتصادی و اقلیمی اثرگذار بر ارزش افزوده بخش کشاورزی ایران». *مجموعه مقالات دهمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی ایران*. <https://sid.ir/paper/877539/fa>
- صالحی کمرودی، محسن؛ و ابونوری، اسمعیل، (۱۳۹۸). «تأثیر تغییر اقلیم بر رشد اقتصادی ایران». *مطالعات*

علوم محیط زیست، ۴(۳): ۱۶۱۴-۱۲۲. https://www.jess.ir/article_95550.html

- لیندکوئیست، سون، (۲۰۱۵). مبارزه با تغییرات آب و هوایی، برنامه توسعه سازمان ملل متحد. ترجمه محمدحسن فطرس و جواد براتی (چاپ دوم ۱۳۹۴)، همدان، دانشگاه بوعلی سینا.

- میرجلیلی، سید حسین؛ آماده، حمید؛ و متقیان فرد، مهدیس، (۱۳۹۸). «اثر تغییر اقلیم بر رشد تولید ناخالص داخلی در ۲۷ استان ایران (با استفاده از روش داده های پانل)». *اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ۳ (۵): ۱۵۲-۱۲۷. <https://doi.org/10.22054/eenr.2019.12479>

- Akbari, M. R.; Pishbahar, I. & Dashti, Q., (2019). "Identifying factors affecting food insecurity of rural households in Iran: the application of the generalized ordinal logit model". *Iranian Applied Economic Studies Quarterly*, 9(35): 91-125, <https://doi.org/10.22084/aes.2020.21656.3058> (In Persian).

- Ali, S. N., (2012). "Climate change and economic growth in a rain-fed economy: how much does rainfall variability cost Ethiopia?". <https://doi.org/10.2139/ssrn.2018233>.

- Auffhammer, M., (2018). "Quantifying Economic Damages from Climate Change". *Journal of Economic Perspectives*, 32 (4): 33-52, <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.33>.

- Auffhammer, M. & Schlenker, W., (2014). "Empirical studies on agricultural impacts and adaptation". *Energy Econ.*, 46: 555-561. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.09.010>.

- Babatunde, M. A. & Adefabi, R. A., (2005). "Long run relationship between education and economic growth in Nigeria: Evidence from the Johansen's cointegration approach". In: *Regional conference on education in west Africa*.

- Bahrami, A., (2021). "Effect of Climate Change on Economic Growth". *12th National Conference on Agricultural Economics*, University of Kurdistan, Sanandaj. <https://civilica.com/doc/1798470>. (In Persian).

- Barrios, S., Ouattara, B. & Strobl, E., (2008). "The impact of climatic change on agricultural production: Is it different for Africa?". *Food policy*, 33(4): 287-298., <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.01.003>.

- Barro, R. J. & Sala-i-Martin, X., (2003). *Economic Growth*. vol. 1. MIT Press Books.

- Blanc, E. & Schlenker, W., (2017). "The use of panel models in assessments of climate impacts on agriculture". *Rev. Environ. Econ. Policy.*, 11(2): 258-279. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:oup:renvpo:v:11:y:2017:i:2:p:258-279>.

- Bortz, P. G. & Toftum, N., (2023). "Changes in rainfall, agricultural exports and reserves: macroeconomic impacts of climate change in Argentina". *Journal of Environmental Economics and Policy*: 243-258, <https://doi.org/10.1080/21606544.2023.2236987>.

- Brown, C. & Lall, U., (2006). "Water and economic development: The role of variability and a framework for resilience". *Natural Resources Forum*, 30: 306-317, <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2006.00118.x>.

- Burke, M. & Emerick, K., (2016). "Adaptation to Climate Change: Evidence from US Agriculture". *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(3): 106-40, <https://doi.org/10.1257/pol.20130025>.

- Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E., (2015). "Global non-linear effect of temperature on economic production". *Nature*, 527: 75-77, 235-239, <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080614-115430>.
- Burke, M. & Tanutama, V., (2019). "Climate constraints on aggregate economic output". *NBER Working Paper No. 25779*. <https://doi.org/10.3386/w25779>.
- Callaway, J. M., et al., (2011). "Assessing the Economic Impact of Climate Change: National Case Studies by the United Nations Development Program". <https://www.researchgate.net/publication/256086760>
- Carleton, T. A. & Hsiang, S. M., (2016). "Social and economic impacts of climate". *Science*, 353 (6304): aad9837, <https://doi.org/10.1126/science.aad9837>.
- Casey, G., (2024). "Energy Efficiency and Directed Technical Change: Implications for Climate Change Mitigation Get Access Arrow". *The Review of Economic Studies*, 91: 192-228, <https://doi.org/10.1093/restud/rdad001>.
- Chang, C., (2002). "The Potential impact of climate change on Taiwan's agriculture". *Agricultural Economics*, 27 (1): 51-64. [https://doi.org/10.1016/S0169-5150\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5150(01)00060-3).
- Dasgupta, S., Bosello, F., De Cian, E. & Mistry, M., (2017). *Global Temperature Effects on Economic Activity and Equity: A Spatial Analysis*. CMCC Working paper. <https://www.rff.org/publications/working-papers/global-temperature-effects-on-economic-activity-and-equity-a-spatial-analysis/>
- Dell, M., 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>.
- Dell, M., Jones, B. F. & Olken, B. A., (2014). "What do we learn from the weather? The new climate-economy literature". *J. Econ. Lit.*, 52: 740-798, <https://doi.org/10.1257/jel.52.3.740>
- Deryugina, T. & Hsiang, S. M., (2017). "The Marginal Product of Climate (NBER)". *Working Paper Series no. 24072*, Cambridge, MA. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:nbr:nberwo:24072>.
- Deschenes, O., (2014). "Temperature, human health, and adaptation: a review of the empirical literature". *Energy Econ.*, 46: 606-619, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.013>.
- Deschenes, O. & Greenstone, M., (2007). "The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather". *American Economic Review*, 97(1): 354-385, <https://doi.org/10.1257/aer.102.7.3761>.
- Desmet, K. & Rossi-Hansberg, E., (2024). "Climate Change Economics over Time and Space". *Annual Review of Economics*, 16, <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-072123-044449>.
- Eberhardt, M., (2024). "Climate change and economic prosperity: Evidence from a flexible damage function". *Journal of Environmental Economics and Management*, 125: 102974, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102974>.
- Elshennawy, A., Robinson, S. & Willenbockel, D., (2016). "Climate change and economic growth: An intertemporal general equilibrium analysis for Egypt". *Economic Modelling*, 52: 681-689. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.10.008>.

- Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P. & Teytelboym, A., (2015). "A third wave in the economics of climate change". *Environ. Resour. Econ.*, 62 (2): 329–357, <https://doi.org/10.1007/s10640-015-9965-2>.
- Grey, D. & Saddoff, C., (2006). *Water for Growth and Development*. A Theme Document of the 4th World Water Forum. World Bank. <https://pt.ircwash.org/sites/default/files/WWC-2006-Thematic.pdf>.
- Guiteras, R., (2009). "The impact of climate change on Indian agriculture". Manuscript, Department of Economics, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Harris Jonathan M., Roach, B. & Codur, A-M., (2015). *The Economic of global climate change*. Global development and environment instisie, Tufts University. <https://www.bu.edu/eci/2023/04/24/the-economics-of-global-climate-change/>
- Hoegh-Guldberg, O. & Bruno, J. F., (2010). "The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems". *Science*, 328: 1523-1528, <https://doi.org/10.1126/science.1189930>.
- Hsiang, S., (2016). "Climate Econometrics". *Ann. Rev. Resour. Econ.*, 8: 43-75, <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095343>.
- Hsiang, S. M., Burke, M. & Miguel, E., (2013). "Quantifying the influence of climate on human conflict". *Science*, 341. <https://doi.org/10.1126/science.1235367>.
- IPCC., (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC., (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jafari, Sh., Jalalinasab, M. & Irvani, H., (2014). "Evaluation of the economic effects of climate change in the agricultural sector". *National Conference on Climate Change and Engineering Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources*, Hamedan. <https://civilica.com/doc/282442>. (In Persian).
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N.C., Pesaran, M. H., Raissi, M. & Yang, J.-Ch., (2021). "Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis". *Energy Economics*, Elsevier, 104(C), <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105624>.
- Kalkuhl, B, M. & Wenz, L., (2020). "The impact of climate conditions on economic production, Evidence from a global panel of regions". *Journal of Environmental Economics and Management*, 103: 102-360, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102360>.
- Khaleghi, S., Bazazan, F. & Madani, Sh., (2014). "The Effects of Climate Change on Agricultural Production and Iranian Economy". *Agricultural Economics Research*, 7(25): 113-135. <https://doi.org/20.1001.1.20086407.1394.7.25.6.1>. (In Persian).
- Kolstad, C. D. & Moore, F. C., (2020). "Estimating the impact of climate change using weather observation". *Review of Environmental Economics and Policy*, 14 (1): 1-24, <https://doi.org/10.1093/reep/rez024>.
- Leimbach, M., Kriegler, E., Roming, N. & Schwanitz, J., (2017). "Future growth patterns of world regions—A GDP scenario approach". *Global Environmental Change*, 42: 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.005>.

- Lindquist, S., (2015). *Combating climate change, United Nations Development Program*. Translated by: Mohammad Hassan Fotros & Javad Barati (2nd edition 2015), Hamadan, Bu-Ali Sina University. (In Persian).
- Mankiw, N. G., Romer, D. & Weil, D. N., (1992). "A contribution to the empirics of economic growth". *Q. J. Econ.*, 107 (2): 407–437, <https://doi.org/10.2307/2118477>.
- Masters, W. A. & McMillan, M. S., (2001). "Climate and Scale in Economic Growth". *Journal of Economic Growth*., 6:167-186. <http://journals.kluweronline.com/issn/1381-4338/contents>.
- Mendelsohn, R., Dinar, A. & Sanghi, A., (2001). "The effect of development on the climate sensitivity of agriculture". *Environment and Development Economics*, 6(1): 85–101. <http://www.jstor.org/stable/44378882>.
- Mirjalili, S. H., Amade, H. & Mottaghianfard, M., (2018). "The effect of climate change on the growth of gross domestic product in 27 provinces of Iran (using the panel data method)". *Quarterly Journal of Environment and Natural Resources Economics*, (5)3: 152-127. <https://doi.org/10.22054/eenr.2019.12479>, (In Persian).
- Newell, G. R., Prest, B. C. & Sexton, E. S., (2021). "The GDP temperature relationship: implications for climate change damages". *J. Environ. Econ. Manag.*, 108: 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102445>.
- Olper, A., Maugeri, M., Manara, V. & Raimondi, V., (2021), "Weather, climate and economic outcomes: Evidence from Italy". *Ecological Economics*, 189: 107-156, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107156>.
- Patz, J., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., et al., (2005). "Impact of regional climate change on human health". *Nature*, 438: 310–317, <https://doi.org/10.1038/nature04188>.
- Pindyck, R. S., (2013). "Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?". *Journal of Economic Literature*, 51 (3): 860–72. <https://doi.org/10.1257/jel.51.3.860>.
- Pretis, F., Schwarz, M., Tang, K., Haustein, K. & Myles, R. A., (2018). "Uncertain impacts on economic growth when stabilizing global temperatures at 1.5° C or 2° C warming, Philos". *Trans. R. Soc. A*, 376: 20160460, <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0460>.
- Rahmstorf, S. & Coumou, D., (2011). "Increase of extreme events in a warming world". *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.*, 108 (44): 4709–4714, <https://doi.org/10.1073/pnas.110176610>.
- Salehi Komroudi, M. & Abounoori, E., (2019). "The Impact of Climate Change on Iranian Economic Growth". *Journal of Environmental Science Studies*, 4(3): 1614-1622. https://www.jess.ir/article_95550.html. (In Persian).
- Salem, A. & Jabari, L., (2022). "Investigating the effect of natural disasters on household consumption patterns in Iran using the difference-in-differences model". *Iranian Applied Economic Studies Quarterly*, (42)11: 47-82, <https://doi.org/10.22084/aes.2022.25884.3418>, (In Persian).
- Soleimaninejad, S., Dourandish, A. & Nikoukar, A., (2016). "Identification of Economic and Climatic Factors Affecting the Agricultural Sector in Iran". *The 10th Biennial Conference of Iran's Agricultural Economics*, May, 2016. Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. <https://sid.ir/paper/877539/fa>, (In Persian).

- Stern, N., (2013). "The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models". *Journal of Economic Literature*, 51 (3): 838–59, <https://doi.org/10.1257/jel.51.3.838>.
- Stern, N., (2016). "Economics: current climate models are grossly misleading". *Nature*, 530 (7591): 407–409, <https://doi.org/10.1038/530407a>.
- Stern, N. & Stiglitz, J. E., (2023). "Climate change and growth". *Industrial and Corporate Change*, 32: 277–303. <https://doi.org/10.1093/icc/dtad008>.
- Tebaldi, E. & Beaudin, L., (2016). "Climate change and economic growth in Brazil". *Applied Economics Letters*, 23(5): 337-381. <https://doi.org/10.1080/13504851.2015.1076141>.
- Tol, R. S. J., (2024). "A meta-analysis of the total economic impact of climate change". *Energy Policy*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113922>.
- <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>
- <https://data.irimo.ir/>

