

Research Paper

**Effect of Climatic and Non-Climatic Variables on Agricultural
Production in Iran**

*Gh. Layani*¹, *M. Karami-Dehkordi*², *H. Amini*³

Received: 4 October, 2025

Accepted: 6 April, 2026

Introduction: Climate change represents one of the pivotal challenges of the 21st century, markedly impacting global food production and security. The interplay of rising temperatures, shifting precipitation dynamics, and increased carbon dioxide levels significantly influences agricultural outputs. These climatic alterations not only diminish agricultural yields but also disrupt the food supply chain, consequently driving up prices and limiting access to essential food resources. Among the various factors impacting food production, carbon dioxide emissions stand out due to their role as a primary greenhouse gas. They contribute to global warming and fundamentally alter plant growth dynamics. While it is documented that elevated CO₂ levels can enhance photosynthetic rates, the detrimental effects of increased temperatures and reduced precipitation typically overshadow these potential benefits. The nexus between atmospheric CO₂ concentration and agricultural productivity underscores the complexity of climate-related challenges faced by the agricultural sector. Research background indicates that anthropogenic activities, particularly in the agricultural sector, have significantly elevated greenhouse gas concentrations in the atmosphere, directly contributing to global warming. The agricultural industry is vital for both economic and social development globally, and it plays a crucial role in addressing hunger and ensuring food security— objectives that align with the overarching goals of sustainable development as recognized internationally. However, this sector is increasingly vulnerable to the impacts of climate change, which presents an existential threat to agricultural productivity and global food security, particularly over recent decades. The Food and Agriculture Organization of

1 . Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Management and Rural Development, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (Ghasem.layani@sku.ac.ir).

2 . Associate Professor, Department of Management and Rural Development, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3 . MA Student, Department of Management and Rural Development, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

the United Nations (FAO) projects that climate change may reduce agricultural output by 10 to 25 percent in certain at-risk regions by 2050, posing a severe challenge to food security worldwide. Furthermore, in 2020, approximately 33 percent of global agricultural production was adversely impacted by climate change, underscoring the critical need for adaptive strategies in agricultural practices (Florea et al., 2020). This study aimed at creating a comprehensive framework that could link climatic factors (temperature, precipitation, cultivated area) with economic variables (agricultural credit, trade liberalization) and social aspects (agricultural labor force) to analyze their impact on Iran's agricultural production index. By addressing gaps in previous research, this model would evaluate both long- and short-term relationships, providing valuable insights and policy recommendations to combat the negative effects of climate change on food security in Iran.

Material and Methods: This study analyzed annual data from Iran for 1990-2022 to investigate key determinants affecting the food security. The analysis incorporated both climatic and non-climatic factors, including mean annual temperature (TEM), mean annual precipitation (RAIN), carbon dioxide emissions (CO₂), agricultural sector credit allocation (CREDIT), energy consumption (EN), land area dedicated to agricultural crops (LAND), the agricultural labor force metrics (AGEM), trade liberalization indices (TR), and the agricultural production index (API). These variables served as critical indicators to assess the food security within the Iranian context (Soumbara & El Ghini, 2024). The Auto-Regressive with Distributed Lags (ARDL) method allows for the simultaneous examination of long-run and short-run effects between variables, addressing the limitations of the Engel-Granger method. Notably, studies by Pesaran et al. (1996) and Pesaran & Shin (1996) highlight the ARDL approach's ability to analyze the relationships without needing to determine the direction of causality. It accommodates variables that are stationary at different levels, avoiding the need to separate them into stationary groups. This method can produce unbiased and efficient estimates, as it typically bypasses issues like serial autocorrelation and endogeneity.

Results and Discussion: The study results revealed that the climate change was affecting food production in Iran differently; in addition, increased temperatures had a significant negative impact on agriculture, with a coefficient of -0.445, aligning with findings that suggested higher temps would reduce crop yields due to increased evapotranspiration, lower soil moisture, and heat stress. Conversely, as shown by the results, precipitation had a positive impact, with a significant coefficient of 0.556, emphasizing the importance of water resources for agriculture; also, carbon dioxide emissions

negatively affected agricultural production, with estimates indicating that one percent increase in emissions could decrease production by 0.011 percent; agricultural labor (with the coefficient of 1.540) remained crucial for Iran's agricultural production index. However, declining employment in this sector underscores the need for mechanization and improved labor productivity. The study also revealed a negative impact of trade liberalization (with the coefficient of -1.081) on food production, indicating a 1.081 percent decrease in the agricultural production index with increased trade relations, assuming other conditions would remain constant. Short-term changes in crop area, credit, energy consumption, precipitation, temperature, labor force, and trade liberalization would significantly impact the food production. The coefficient of crop cultivated area (0.955) highlighted the importance of enhancing agricultural infrastructure. Additionally, the positive effect of credit (0.198) underscored the vital role of financial policies in supporting agriculture. Access to credit helps farmers expand operations and improve productivity through investments in machinery and technology. In Iran, where agriculture is crucial for the food security, targeted credit policies can strengthen production capacities and reduce reliance on imports. These findings are consistent with existing literature on the food security and agricultural development. The precipitation coefficient was 0.146, indicating a significant positive effect on agricultural yields, particularly in arid regions of Iran, where it could be considered as a key water source. Conversely, the temperature coefficient was -0.428, suggesting that higher temperatures would negatively impact the food production. The error correction term (with a coefficient of -0.605) suggested that approximately 60 percent of the short-run imbalance would adjust towards long-run equilibrium each period.

Conclusion and Suggestions: The analysis revealed that rising temperatures and increased carbon dioxide levels adversely affected agricultural production in the long term. Notably, while the temperature coefficient was not statistically significant over extended periods, this might suggest the presence of nonlinear dynamics or the moderating effects of additional variables. Conversely, precipitation demonstrated a positive and statistically significant effect on agricultural output in both the short and long terms. The findings underscore that the influence of climatic variables on agricultural production intensifies over time, likely attributable to cumulative mechanisms such as progressive soil degradation, loss of biodiversity, and heightened environmental stressors. In light of these outcomes, it is imperative to pursue adaptive strategies in agriculture that address the climate change. This includes the implementation of advanced irrigation systems, promotion of sustainable agricultural practices to mitigate alterations in precipitation patterns, investment in climate-resilient research aimed at developing heat-

and drought-resistant crop varieties, and the modification of crop patterns to manage pollution emissions. Such measures are essential for alleviating the adverse impacts of climate change on the food security.

Keywords: *Climate Change, Energy Consumption, CO₂ Emissions, Agricultural Production, Trade Liberalization, Iran.*

JEL Classification: Q54, Q10, Q56, C32, Q43

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۴، شماره ۱۳۳، بهار ۱۴۰۵

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی و غیر اقلیمی بر تولید بخش کشاورزی ایران

قاسم لیانی^۱، مهدی کرمی دهکردی^۲، حبیب امینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۷

چکیده

در دهه‌های اخیر، ایران با افزایش دما، کاهش بارش و تشدید خشکسالی‌ها مواجه بوده و هم‌زمان رشد مصرف انرژی فسیلی و انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) پایداری تولید کشاورزی را تهدید کرده است. از این‌رو، پژوهش حاضر، با هدف تفکیک اثرات اقلیمی و غیر اقلیمی بر تولید کشاورزی کشور، از داده‌های سری زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ و الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL) برای بررسی روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که افزایش دما و غلظت CO₂ در بلندمدت اثرات نامطلوب بر تولیدات کشاورزی ایران دارد، به‌گونه‌ای که با افزایش یک درصدی در میزان انتشار CO₂، با فرض ثابت بودن سایر شرایط، کاهش ۰/۰۱۱ درصدی در شاخص تولید کشاورزی روی می‌دهد؛ در مقابل، متغیر بارش در هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت تأثیر مثبت و معنی‌دار (در بازه ۰/۱۴۶ تا ۰/۵۶۵) بر تولید محصولات غذایی دارد. همچنین، بر اساس نتایج پژوهش حاضر، نسبت اثرگذاری متغیرهای اقلیمی در بلندمدت بیش از کوتاه‌مدت بود؛ و در کوتاه مدت، مصرف انرژی و سطح زیر کشت به‌عنوان قوی‌ترین عوامل اثرگذار مثبت شناسایی شدند، که بیانگر وابستگی شدید بخش کشاورزی ایران به نهاده‌های انرژی‌بر و توسعه فیزیکی اراضی است. با این همه، وابستگی به انرژی فسیلی در بلندمدت آثار زیست‌محیطی

۱- نویسنده مسئول و استادیار گروه مدیریت و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران (Ghasem.layani@sku.ac.ir).

۲- دانشیار گروه مدیریت و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مدیریت و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

نامطلوب به همراه داشت. ضریب متغیر آزادسازی تجاری در مدل کوتاه مدت مثبت (+۰/۴۵۴) و در بلندمدت، به دلیل وابستگی به واردات نهاده‌ها و کاهش توان رقابتی تولیدکنندگان کوچک در برابر رقبای خارجی، منفی (-۱/۰۸۱) برآورد شد. بنابراین، بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر، انطباق کشاورزی با تغییرات اقلیم، سرمایه‌گذاری در پژوهش‌های اقلیم‌محور برای توسعه ارقام مقاوم به گرما و خشکی، گذار تدریجی به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود بهره‌وری انرژی در ماشین‌آلات کشاورزی، طراحی مشوق‌های مالی برای فناوری‌های کم‌کربن و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه روش‌های کشاورزی هوشمند اقلیمی به‌عنوان راهکارهایی مؤثر برای دستیابی به تولید پایدار کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تغییرات اقلیم، مصرف انرژی، انتشار CO₂، تولید کشاورزی، تجارت آزاد، ایران.

طبقه‌بندی JEL : Q54, Q10, Q56, C32, Q43

مقدمه

تغییرات اقلیمی، به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر، تأثیرات گسترده بر تولید غذا و امنیت غذایی در سراسر جهان داشته است (Tagwi, 2022). افزایش دما، تغییر الگوهای بارش، و انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) از عوامل اصلی تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌روند که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارند. این تغییرات نه‌تنها باعث کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شوند، بلکه زنجیره تأمین غذا را نیز مختل کرده، به افزایش قیمت‌ها و کاهش دسترسی به منابع غذایی می‌انجامد (Demirhan, 2020). انتشار CO₂ از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تولید غذاست که به‌عنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای اصلی، نقشی مهم در تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند. افزایش غلظت CO₂ در جو، علاوه بر تأثیر مستقیم بر دمای زمین، می‌تواند بر رشد گیاهان نیز اثرگذار باشد. اگرچه برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزایش CO₂ ممکن است رشد گیاهان را تسهیل کند، اما اثرات منفی آن در افزایش دما و کاهش بارش معمولاً بر این مزیت غلبه می‌کنند (Ayyildiz & Erdal, 2021). فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی منجر به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو با اثرات مستقیم بر گرمایش جهانی شده است. بخش کشاورزی به‌عنوان یک عامل اساسی در توسعه اقتصادی و اجتماعی در سطح جهانی شناخته شده و نقش آن در ریشه‌کنی گرسنگی و تحقق امنیت غذایی درخور اهمیت است (Hosseini et al., 2013) که در سطح بین‌المللی، به‌عنوان اهداف کلیدی توسعه پایدار مطرح می‌شوند. با این همه، بر اساس داده‌های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، در سال ۲۰۲۲، نظام‌های کشاورزی و غذایی جهانی عامل اصلی انتشار حدود ۱۶/۲ میلیارد تن معادل دی‌اکسید کربن (Gt CO₂eq) بوده که نزدیک به یک‌سوم (۲۹/۷ درصد) از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی است. این میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، در سال ۲۰۰۰، حدود ۳۸ درصد بوده است. این انتشار از سه منبع اصلی فعالیت‌های داخل مزرعه (شامل کشت و دامداری) با سهم ۴۸ درصد، تغییر کاربری اراضی (مانند جنگل‌زدایی) با سهم نوزده درصد، و فرآیندهای پیش و پس از تولید در

زنجیره تأمین غذا (از جمله فرآوری، خرده‌فروشی، مصرف خانگی و دفع ضایعات غذایی) با سهم ۳۳ درصد سرچشمه می‌گیرد. این آمار تأکیدی است بر این واقعیت که بخش کشاورزی و نظام‌های غذایی همچنان یکی از بزرگ‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان محسوب می‌شود (FAO, 2024).

هرچند، بخش کشاورزی یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود، خود این بخش نیز به‌طور گسترده، از پیامدهای تغییرات اقلیمی ناشی از آن تأثیر می‌پذیرد. این تغییرات، به‌ویژه در دهه‌های اخیر، به تهدیدی جدی برای تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی جهانی تبدیل شده است. بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰، به کاهش ۱۰ تا ۲۵ درصدی تولید محصولات کشاورزی در برخی مناطق آسیب‌پذیر بینجامد و چه‌بسا تهدیدی جدی برای امنیت غذایی در جهان محسوب شود. همچنین، در سال ۲۰۲۰، حدود ۳۳ درصد از کل تولیدات کشاورزی در سطح جهان از تغییرات اقلیمی تأثیر پذیرفتند (Florea et al., 2020). در پاسخ بدین چالش دوگانه یعنی، نقش بخش کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آسیب‌پذیری آن در برابر تغییرات اقلیمی، سیاست‌های متعدد در سطح جهانی و ملی طراحی و اجرا شده است که از آن میان، می‌توان به ابتکارات «کشاورزی هوشمند با آب‌هوا»^۱ توسط فائو، برنامه‌های کاهش یارانه‌های مضر و ترویج کودهای هوشمند^۲ و نیز اجرای سازوکارهای مالی مانند صندوق سبز برای اقلیم اشاره کرد که هدف آنها افزایش تاب‌آوری نظام‌های کشاورزی و کاهش شدت کربن آنهاست (Praveen & Sharma, 2019).

علاوه بر عوامل اقلیمی که به‌طور مستقیم، بر تولید غذا تأثیر می‌گذارند، متغیرهای غیراقلیمی نیز نقش تعیین‌کننده در پایداری و بهره‌وری بخش کشاورزی دارند. از جمله این متغیرها می‌توان به سطح زیر کشت (Li et al., 2018)، نیروی کار کشاورزی (Xu et al., 2022)، آزادسازی تجاری (Dithmer & Abdulai, 2017) و سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی (Asghar & Salman, 2018) اشاره کرد. افزایش سطح زیر کشت، به‌ویژه در مناطق دارای توان (پتانسیل) بالا برای تولید محصولات کشاورزی، می‌تواند به‌گونه‌ای چشمگیر تولید غذا را افزایش دهد. با این همه، این کار نیازمند مدیریت بهینه منابع طبیعی مانند آب و خاک است، چراکه گسترش بی‌رویه سطح زیر کشت ممکن است منجر به تخریب محیط زیست و کاهش پایداری کشاورزی شود. از سوی دیگر، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین کشاورزی، مانند سامانه‌های آبیاری هوشمند و ماشین‌آلات پیشرفته، می‌تواند بهره‌وری را بهبود بخشد و وابستگی به نیروی کار انسانی را کاهش دهد. اما کمبود نیروی کار ماهر و عدم دسترسی به فناوری‌های پیشرفته، به‌ویژه در مناطق روستایی،

1. Climate-Smart Agriculture (CSA)

۲- به استفاده از انواع کودهایی اشاره دارد که به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که مواد مغذی را به‌صورت کنترل‌شده و متناسب با نیاز گیاه آزاد کرده، از اتلاف آنها جلوگیری کنند.

همچنان چالش‌های جدی برای کشاورزان ایجاد می‌کند (Van Huong et al., 2022). مصرف انرژی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در تولید کشاورزی نوین شناخته می‌شود، چراکه در فرآیندهای اصلی مانند آبیاری، خاک‌ورزی، تولید کود و سموم، و برداشت محصول، نقش محوری ایفا می‌کند (Tagwi, 2022). افزایش کارایی مصرف انرژی می‌تواند به‌طور مستقیم، بهره‌وری کشاورزی را ارتقا دهد؛ با این همه، بخش عمده این انرژی همچنان از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود که نه تنها هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد، بلکه به‌عنوان یکی از منابع مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای، به گرمایش جهانی دامن می‌زند (Nonhebel, 2005). از این‌رو، درک رابطه بین مصرف انرژی و عملکرد کشاورزی پیش‌نیازی ضروری برای طراحی سیاست‌هایی است که هم تولید غذا را تقویت کند و هم بار زیست‌محیطی آن را کاهش دهد.

در ایران، کشاورزی به‌عنوان یکی از بخش‌های اصلی اقتصادی و منبع معیشت بسیاری از مردم - با سهم حدود ۱۲/۸ درصد از تولید ناخالص داخلی (Our World in Data, 2023) و سهم ۱۴/۵ درصد اشتغال (World Bank, 2023) - از تغییرات اقلیمی و الگوی ناپایدار مصرف انرژی به‌شدت تأثیر پذیرفته است. علی‌رغم حساسیت بالای بخش کشاورزی ایران به تغییرات اقلیمی و هم‌زمان وابستگی گسترده آن به عوامل تولیدی غیراقلیمی، به‌ویژه انرژی فسیلی، نیروی کار و سرمایه‌گذاری، پژوهش‌های تجربی موجود در این حوزه اغلب یا صرفاً با تمرکز بر ابعاد اقلیمی (مانند دما و بارش) یا تحلیل مجزای متغیرهای غیراقلیمی بدون در نظر گرفتن تعاملات ساختاری و اقلیمی انجام شده‌اند. در این رویکردهای تک‌بعدی، امکان درک جامع از ماهیت چندعاملی تولید کشاورزی در شرایط بحران‌های هم‌زمان ناشی از اقلیم و انرژی محدود شده است. در ایران که هم‌زمان، با افزایش بی‌سابقه دما (بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در سه دهه اخیر) و همچنین، کاهش بیست درصدی بارش‌ها و افزایش فراوانی خشکسالی‌ها روبه‌روست، الگوی مصرف انرژی نیز به‌شدت کربن‌زده و کارایی آن پایین است، چراکه بیش از نود درصد انرژی مصرفی کشور از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی ناچیز است. در چنین شرایط و پیش‌زمینه‌ای، سؤالات کلیدی عبارت‌اند از: «تأثیر کدام دسته از عوامل (اقلیمی یا غیراقلیمی) بر تولید کشاورزی ایران تعیین‌کننده‌تر است؟» و «آیا می‌توان با بهبود عوامل قابل کنترل (مانند کارایی مصرف انرژی یا سرمایه‌گذاری)، بخشی از آسیب‌پذیری ناشی از عوامل غیرقابل کنترل (مانند تغییر اقلیم) را جبران کرد؟». پاسخ بدین پرسش‌ها مستلزم تحلیلی یکپارچه است که در آن، هم‌زمان اثرات دی‌اکسید کربن، دما، بارش، مصرف انرژی، نیروی کار، سطح زیر کشت و سرمایه‌گذاری در یک چارچوب اقتصادسنجی بررسی شود. مطالعه حاضر با هدف پر کردن این شکاف روش‌شناختی و موضوعی، به بررسی تأثیرات تفکیکی و توأمان متغیرهای اقلیمی و غیراقلیمی بر تولید بخش کشاورزی ایران طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ پرداخته است. از این‌رو،

یافته‌های پژوهش حاضر نه تنها به غنی‌سازی ادبیات تجربی در حوزه اقتصاد کشاورزی و اقلیم بلکه به ارائه راهکارهایی شواهدمحور برای سیاست‌گذاران در راستای هدفمندسازی اقدامات دوگانه «کاهش شدت کربن» و «افزایش تاب‌آوری تولید کشاورزی» کمک خواهد کرد.

اثر تغییر اقلیم بر تولید غذا و امنیت غذایی در مطالعات مختلف ارزیابی شده است. احمد و همکاران (Ahmed et al., 2024)، با هدف بررسی اثر تغییرات آب‌وهوایی بر تولید غذا در هند، متغیرهایی همچون دما، بارندگی، انتشار دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن و مصرف انرژی را به‌عنوان متغیرهای توضیحی در نظر گرفتند. در این مطالعه، نتایج الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده^۱ نشان داد که مصرف انرژی، بارندگی و انتشار متان بهره‌وری مواد غذایی را بهبود می‌بخشد، در حالی که دما و انتشار اکسید نیتروژن تولید غذا را در بلندمدت و کوتاه‌مدت تضعیف می‌کند؛ اثر انتشار دی‌اکسید کربن بر تولید غذا نیز معنی‌دار نشده است. سومبارا و ال‌قینی (Soumbara & El Ghini, 2024) اثر نامتقارن دما و بارندگی بر امنیت غذایی مراکش را با در نظر گرفتن شاخص تولید غذا بررسی کردند و نتایج نشان داد که افزایش بارندگی منجر به افزایش شاخص تولید غذا و همچنین، کاهش بارندگی منجر به کاهش شاخص تولید غذا می‌شود؛ واکنش این شاخص به تکانه مثبت بارندگی قوی‌تر و مداوم‌تر از تکانه منفی آن است؛ و افزایش دما نیز باعث افزایش تولید غذا در بلندمدت می‌شود و کاهش دما کاهش تولید غذا در بلندمدت را در پی دارد. بهویان و همکاران (Bhuyan et al., 2023)، با استفاده از داده‌های سری زمانی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۴، اثر تغییر اقلیم را بر امنیت غذایی هند بررسی کردند. در این مطالعه، متغیرهای آب‌وهوا، سطح زیر کشت، رشد جمعیت، باران‌های کشاورزی و تولید غذا در نظر گرفته شدند و یافته‌ها نشان داد که گسترش سطح زیر کشت محصولات غذایی امنیت غذایی را به‌گونه‌ای چشمگیر افزایش داده و برعکس، رشد جمعیت تأثیر مخرب بر امنیت غذایی داشته است؛ همچنین، افزایش دما بر امنیت غذایی تأثیر منفی داشته و کاهش ۱/۲ درصدی در کوتاه‌مدت و ۱/۷ درصدی در بلندمدت را به ازای هر یک درصد افزایش دما به‌دنبال داشته است؛ بارندگی نیز در بلندمدت، بر امنیت غذایی چندان تأثیر نداشته است. چاندیو و همکاران (Chandio et al., 2022b) به بررسی اثر متغیرهای متوسط بارندگی سالانه، متوسط دمای سالانه، انتشار دی‌اکسید کربن، توسعه مالی، مصرف انرژی و نیروی کار روستایی بر تولید غلات بنگلادش پرداختند و نتایج برآورد مدل ARDL نشان داد که بر اثر بارندگی، تولید غلات در کوتاه‌مدت و بلندمدت بهبود می‌یابد، در حالی که انتشار دی‌اکسید کربن تأثیر منفی بر تولید غلات دارد؛ همچنین، اثر دما بر تولید این محصولات منفی و اثر مصرف انرژی و توسعه مالی مثبت ارزیابی شده است. در ایران، حاجی‌رحیمی و همکاران (Haji-Rahimi et al., 2024) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روند تولید غلات و امنیت

1. Auto-Regressive with Distributed Lags (ARDL)

غذایی در ایران پرداختند و نتایج نشان داد که متغیرهای سطح زیر کشت، میزان بارش و مصرف کود شیمیایی در بلندمدت و کوتاه‌مدت تأثیر مثبت و معنی‌دار بر تولید غلات دارد؛ همچنین، اثر تغییر فناوری در بلندمدت بر تولید غلات در ایران مثبت ارزیابی شده و دما و انتشار دی‌اکسید کربن هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تأثیر منفی و معنی‌دار بر تولید غلات داشته است. مهدویان و همکاران (Mahdavian et al., 2024) اثر تغییرات دما، بارش، انتشار متان، سرمایه ثابت ناخالص و کاربری زمین بر شاخص تولید دام در ایران را بررسی کردند و نتایج نشان داد که افزایش یک درصدی در دما می‌تواند منجر به کاهش ۸/۰۶ درصدی تولیدات دامی شود، در حالی که کاهش یک درصدی دما افزایش ۳/۸۵ درصدی تولید دام را به دنبال دارد؛ بارندگی نیز رابطه مستقیم با امنیت غذایی دارد؛ همچنین، اثر تکانه مثبت متان بر شاخص امنیت غذایی ناچیز بوده، در حالی که تکانه منفی این متغیر اثر ۷/۵ درصدی بر امنیت غذایی داشته است. جوادی و همکاران (Javadi et al., 2023)، با استفاده از مدل تعادل عمومی، به بررسی تأثیر اقتصادی متغیرهای آب‌وهوا بر امنیت غذایی ایران پرداختند و نتایج نشان داد که طی سناریوهای متوسط و بد آب‌وهوایی، امنیت غذایی با چالش‌های جدی مواجه خواهد شد.

مطالعات پیشین عمدتاً تأثیرات تغییر اقلیم را از طریق متغیرهای فیزیکی مانند دما، بارش و گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه دی‌اکسید کربن) بر تولید کشاورزی بررسی کرده‌اند، در حالی که نقش میانجی و تعدیل‌گر عوامل اقتصادی- نهادی که می‌توانند تاب‌آوری نظام‌های تولیدی را در برابر تکانه‌های اقلیمی تقویت یا تضعیف کنند، نادیده گرفته شده است. مطالعه حاضر، با الهام از چارچوب «تاب‌آوری کشاورزی در برابر تغییر اقلیم» و ادبیات «اقتصاد تطبیقی»^۲، متغیرهایی را انتخاب کرده است که از دیدگاه نظری، هم در کاهش آسیب‌پذیری (مثلاً از طریق دسترسی به منابع مالی و فناوری) و هم در افزایش توانایی سازگاری (مثلاً از طریق کارآیی نیروی کار و انعطاف‌پذیری بازار) مؤثرند. در پژوهش حاضر، به‌ویژه اعتبارات کشاورزی نه به‌عنوان یک جریان مالی کلان بلکه به‌عنوان ابزاری بالقوه برای تسهیل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کم‌آب و کم‌کربن (مانند سامانه‌های آبیاری هوشمند یا کودهای کنترل‌شده) در نظر گرفته شده است؛ البته، با آگاهی از این واقعیت که در عمل، بخش عمده این اعتبارات در ایران همچنان برای خرید نهاده‌های سنتی (مانند کود شیمیایی و سوخت) مصرف می‌شود و اثرات مثبت آن مشروط به بازتخصیص هدفمند آنهاست. آزادسازی تجاری نیز در شرایط تحریم، نه به معنی باز شدن کامل بازار بلکه به‌عنوان شاخصی از دسترسی نسبی به بازارهای منطقه‌ای و تنوع واردات نهاده‌های حیاتی (مانند بذر و تجهیزات) تعبیه شده است. از سوی دیگر، در پژوهش حاضر، نیروی کار کشاورزی از منظر کمی (تعداد شاغلان)

1. climate-resilient agriculture
2. adaptive economics

اندازه‌گیری شده، اما با این درک که اثربخشی آن در مقابله با تغییر اقلیم مستلزم دانش فنی، آموزش و انگیزه برای پذیرش روش‌های نوین است، موضوعی که در داده‌های کلان قابل تحلیل نیست؛ اما در تفسیر نتایج لحاظ خواهد شد. این ترکیب از متغیرهای اقلیمی، تولیدی، اقتصادی و اجتماعی یک چارچوب تحلیلی یکپارچه فراهم می‌کند که نه تنها شکاف روش‌شناختی مطالعات پیشین را پر می‌کند، بلکه راهنمایی‌های سیاستی دقیق‌تر را برای افزایش تولید کشاورزی در بستر چالش‌های آب‌وهوایی، اقتصادی و ساختاری ایران ارائه می‌دهد.

مواد و روش

در پژوهش حاضر، انتخاب متغیرهای توضیحی بر اساس دو پایه نظری اصلی استوار است: (۱) چارچوب تابع تولید کشاورزی با تکانه‌های اقلیمی (Mendelsohn et al., 2006)؛ (۲) الگوی توانایی (ظرفیت) سازگاری^۱ در نظام‌های کشاورزی (Deressa & Hassan, 2009) و (۳) الگوی توانایی (ظرفیت) سازگاری^۱ در نظام‌های کشاورزی (Huq et al., 2015). در این رویکرد، تولید کشاورزی (Y) نه تنها تابعی از عوامل سنتی (کلاسیک) تولید (مانند نیروی کار و سرمایه) است، بلکه از «فشارهای بیرونی» (اعم از دما، بارش و انتشار CO₂) و «عوامل تعدیل‌گر ظرفیت سازگاری» (مانند دسترسی به اعتبار و انعطاف‌پذیری بازار) تأثیر می‌پذیرد؛ به‌ویژه، متغیرهای اقلیمی (دما، بارش، CO₂) از چارچوب اقتصاد تطبیقی اقلیمی وارد الگو شده‌اند، چراکه این عوامل، به‌طور مستقیم، بر عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان و هزینه‌های تولید تأثیر می‌گذارند. از سوی دیگر، اعتبارات کشاورزی بر اساس نظریه سرمایه‌گذاری در دارایی‌های تاب‌آوری محور^۲ انتخاب شده است، زیرا دسترسی به منابع مالی شرط لازم برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های مقاوم در برابر خشکسالی یا کم‌مصرف انرژی است. آزادسازی تجاری نیز با الهام از ادبیات «انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین»^۳ وارد الگو شده است، چراکه دسترسی به بازارهای جایگزین می‌تواند وابستگی به نهاده‌های داخلی آسیب‌پذیر را کاهش دهد. در نهایت، نیروی کار و مصرف انرژی بر اساس تابع تولید کاب-داگلاس و ادبیات کارایی انرژی در کشاورزی (Nonhebel, 2005) به‌عنوان عوامل تولیدی اصلی در نظر گرفته شده‌اند. این تلفیق نظری امکان تحلیل هم‌زمان «فشار اقلیمی» و «ظرفیت پاسخ‌دهی اقتصادی- نهادی» را فراهم می‌آورد.

در مطالعه حاضر، از داده‌های سالانه طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۲۲ برای ایران و همچنین، به‌منظور دستیابی به اهداف مطالعه، از متغیرهای اقلیمی و غیراقلیمی همچون میانگین دمای سالانه (TEM)، میانگین بارندگی سالانه (RAIN)، انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂)، اعتبارات اختصاص‌یافته به بخش کشاورزی (CREDIT)، مصرف انرژی (EN)، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی (LAND)،

1. adaptive capacity
2. resilience capital
3. supply chain resilience

نیروی کار بخش کشاورزی (AGEM)، آزادسازی تجاری (TR) و شاخص تولید محصولات کشاورزی (API) در ایران (Soumbara & El Ghini, 2024) استفاده شده است. به پیروی از مطالعات سومبارا و ال‌قینی (Soumbara & El Ghini, 2024) و چاندیو و همکاران (Chandio et al., 2022b)، مدل کلی تحقیق حاضر به صورت زیر تعریف شده است:

$$API_t = f(TEM_t, RAIN_t, CO2_t, CREDIT_t, EN_t, LAND_t, AGEM_t, TR_t) \quad (1)$$

در مطالعه حاضر، برای دستیابی به تفسیر کشتی و همگون‌سازی مقیاس متغیرهای متفاوت از جمله کمیت‌های فیزیکی (مانند دما و بارش) و کمیت‌های اقتصادی (مانند اعتبار و مصرف انرژی)، تمامی متغیرها در قالب لگاریتم طبیعی وارد مدل شده‌اند. این رویکرد، هم‌راستا با مطالعاتی معتبر همچون پژوهش‌های سومبارا و ال‌قینی (Soumbara & El Ghini, 2024)، حاجی‌رحیمی و همکاران (Haji-Rahimi et al., 2024) و چاندیو و همکاران (Chandio et al., 2022a)، دو مزیت روش شناختی کلیدی دارد: ۱) کاهش ناهمسانی واریانس و بهبود خصوصیات توزیع جملات اخلاص و ۲) امکان تفسیر ضرایب برآوردشده به‌عنوان کشتی تولید کشاورزی نسبت به هر متغیر (یعنی، درصد تغییر در شاخص تولید کشاورزی ناشی از یک درصد تغییر در متغیر توضیحی). این رویکرد در ادبیات تجربی اقتصاد کشاورزی و تغییر اقلیم به‌ویژه در مطالعات مبتنی بر داده‌های کلان با مقیاس‌های متفاوت همچنان رایج و پذیرفته‌شده مطابق رابطه زیر است:

$$\log API_t = \beta_0 + \beta_1 \log TEM_t + \beta_2 \log RAIN_t + \beta_3 \log CO2_t + \beta_4 \log CREDIT_t + \beta_5 \log EN_t + \beta_6 \log LAND_t + \beta_7 \log AGEM_t + \beta_8 \log TR_t + \epsilon_t \quad (2)$$

که در آن، β_1 تا β_8 ضرایب برآوردی متغیرهای توضیحی، β_0 عرض از مبدأ و ϵ_t جزء اخلاص مدل است. در جدول ۱، متغیرهای الگوی پژوهش و منابع آنها معرفی شده است.

جدول ۱- معرفی و منابع متغیرهای الگوی پژوهش

منبع	تعریف	متغیر
WDI (2024)	لگاریتم شاخص تولید غذا	$\log API$
https://globaldatalab.org/	لگاریتم میانگین دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	$\log TEM$
https://globaldatalab.org/	لگاریتم میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	$\log RAIN$
https://globaldatalab.org/	لگاریتم میزان انتشار دی‌اکسید کربن (کیلو تن)	$\log CO2$
FAO (2024)	لگاریتم اعتبارات بخش کشاورزی (میلیون دلار)	$\log CREDIT$
FAO (2024)	لگاریتم مصرف انرژی در بخش کشاورزی (کیلوگرم معادل نفت خام)	$\log EN$

منبع	تعریف	متغیر
FAO (2024)	لگاریتم سطح زیر کشت (هکتار)	$\log LAND_t$
FAO (2024)	لگاریتم نیروی کار بخش کشاورزی (درصد از کل نیروی کار)	$\log AGEM_t$
WDI (2024)	لگاریتم شاخص آزادسازی تجاری (درصد از تولید ناخالص داخلی)	$\log TR_t$

مأخذ: یافته‌های پژوهش

دلایل استفاده از این متغیرها به‌عنوان متغیرهای توضیحی مدل در پی تشریح می‌شود. در مناطق مختلف جهان، تحقیقات متعدد به بررسی ارتباط بین عوامل اقلیمی و تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی پرداخته‌اند (Ahsan et al., 2020; Pickson et al., 2020; Warsame et al., 2021, Soumbara & El Ghini, 2024). بر اساس یافته‌های پیشین، انتظار می‌رود که میانگین دما و انتشار دی‌اکسید کربن تأثیر منفی بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشند (Ahmed et al., 2020). در حالی که بارندگی سالانه می‌تواند به بهبود تولید محصولات کشاورزی منجر شود (Warsame et al., 2021). برخی از محققان نشان دادند که اعتبارات به‌عنوان شاخصی از توسعه مالی می‌تواند نقشی مهم در افزایش تولیدات کشاورزی داشته باشد (Zakaria et al., 2019). در مطالعه حاضر، از مصرف انرژی، نیروی کار بخش کشاورزی، سطح زیر کشت و آزادسازی تجاری نیز به‌عنوان متغیرهای توضیحی در مدل استفاده شده است. حاجی‌رحیمی و همکاران (Haji-Rahimi et al., 2024) تأثیر مثبت سطح زیر کشت بر تولید غلات در ایران و چاندیو و همکاران (Chandio et al., 2022b) اثر مثبت مصرف انرژی بر تولید غلات در بنگلادش را تأیید کردند.

در پژوهش حاضر، انتخاب روش مناسب برای تخمین مدل بر اساس یک پروتکل روش‌شناختی ساختاریافته و نتایج آزمون‌های پیش‌نیاز تعیین و ابتدا، با استفاده از آزمون‌های ریشه واحد، ایستایی متغیرهای مدل بررسی شده است. در شرایطی که متغیرهای مورد مطالعه ترکیبی از سری‌های $I(0)$ و $I(1)$ باشند، شرط ضروری برای کاربرد رویکرد خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL) تأمین شده است (Pesaran et al., 2001). به‌منظور بررسی ایستایی متغیرهای مطالعه، از آزمون‌های ایستایی ADF و KPSS و برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل، از آزمون کرانه استفاده شده است. رویکرد ARDL نه‌تنها با ویژگی‌های ساختاری داده‌های پژوهش حاضر سازگار بوده، بلکه پاسخ‌گوی نیازهای تحلیلی آن در شناسایی پویایی‌های کوتاه‌مدت و تعادل بلندمدت در بخش کشاورزی ایران است.

1. bounds test

مدل خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL)

روش خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL) امکان بررسی توأم اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت میان متغیرها را فراهم می‌کند. به دیگر سخن، این روش توانایی تخمین اجزای بلندمدت و کوتاه‌مدت را به‌طور هم‌زمان داراست. محدودیت‌های تحلیل‌های هم‌جمعی مبتنی بر روش انگل-گرانجر باعث شد تا برخی از مطالعات به‌منظور غلبه بر نواقص این روش در صدد دستیابی به رهیافتی بهتر برای تحلیل رابطه درازمدت بین متغیرها برآیند که از آن میان، می‌توان به مطالعات پسران و همکاران (Pesaran et al., 2001) و پسران و شین (Pesaran & Shin, 1998) اشاره کرد. رهیافت ارائه‌شده توسط ایت پژوهشگران، علاوه بر رفع نیاز به اطلاع از جهت رابطه بین متغیرها، امکان بررسی توأم رابطه میان متغیرها را در حالتی که پاره‌ای از آنها در سطح ایستا قرار دارند و پاره‌ای دیگر با یک‌بار تفاضل‌گیری ایستا می‌شوند، فراهم می‌کند. مزیت عمده این راهبرد این است که می‌توان آن را بدون توجه به ایستا بودن متغیرها در سطح یا ایستا بودن پس از یک‌بار تفاضل‌گیری به‌کار گرفت (Pesaran & Shin, 1998). چنان‌که پیش‌تر گفته شد، روش ARDL توانایی تخمین اجزای کوتاه‌مدت و بلندمدت را به‌طور هم‌زمان دارد و همچنین، از آنجا که این مدل‌ها عموماً عاری از مشکلاتی چون خودهمبستگی سریالی و درون‌زایی هستند، تخمین‌های به‌دست‌آمده از آنها ناریب و کارآ خواهند بود.

مدل ARDL مطالعه حاضر را می‌توان به‌صورت رابطه زیر نوشت:

$$\alpha(L, p)Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i(L, p)X_{it} + u_t \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

که در آن، α_0 عرض‌ار مبدأ، Y_t متغیر وابسته و L عامل وقفه است که به‌صورت $L^j Y_t = Y_{t-j}$ تعریف می‌شود؛ همچنین، بردار متغیرهای مستقل مورد استفاده در تابع تولید کشاورزی است. بنابراین، می‌توان نوشت:

$$\alpha(L, p) = 1 - \alpha L^1 - \dots - \alpha_p L^p \quad \beta_i(L, q) = \beta_{i0} + \beta_{i1} L + \beta_{i2} L^2 + \dots + \beta_{iq} L^q \quad (4)$$

در بلندمدت، روابط زیر بین متغیرهای حاضر در مدل صادق خواهد بود:

$$Y_t = Y_{t-1} = \dots = Y_{t-p} \quad (5)$$

$$X_{i,t} = X_{i,t-1} = \dots = X_{i,t-q} \quad (6)$$

که در این روابط، q عبارت است از q آمین وقفه مربوط به آمین متغیر. رابطه بلندمدت بین متغیرها را می‌توان به صورت روابط زیر بیان کرد:

$$Y = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + v_i \quad \alpha = \frac{\alpha_0}{\alpha(1-p)} \quad (7)$$

$$\beta_i = \frac{\beta_i(1.q)}{\alpha(1.p)} = \frac{\sum_{j=0}^q \beta_i}{\alpha(1.p)} \quad v_i = \frac{u_i}{\alpha(1.p)} \quad (8)$$

معادله تصحیح خطای مدل ARDL به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$\Delta Y_t = \Delta \alpha_0 - \sum_{j=2}^p \hat{\alpha}_j \Delta Y_{t-j} + \sum_{i=0}^k \hat{\beta}_{i0} \Delta X_{it} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=2}^q \hat{\beta}_{i,t-j} \Delta X_{i,t-j} - \alpha(1.p) ETC_{t-1} + u \quad (9)$$

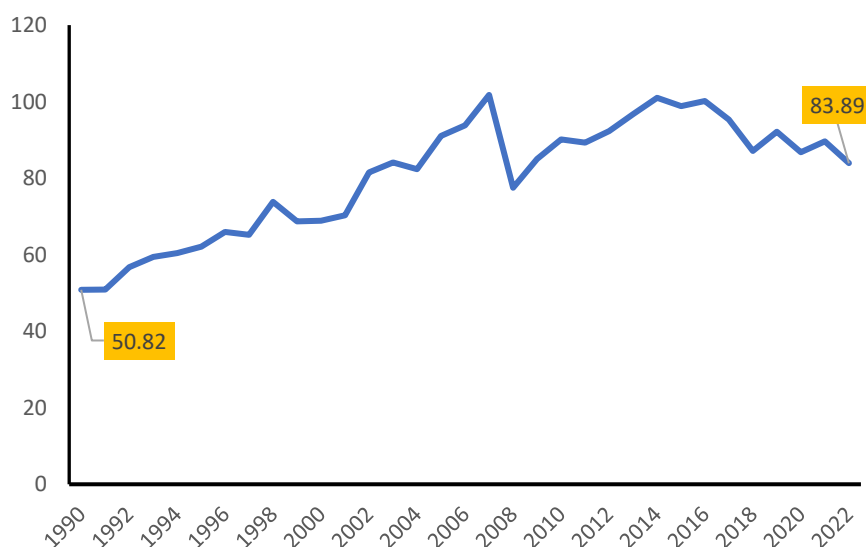
که در آن، ECT جزء تصحیح خطاست و به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$ECT = Y_t - \hat{\alpha} - \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i \Delta X_{it} \quad (10)$$

که در آن، $\hat{\alpha}$ و $(\hat{\beta}_i)$ ضرایب برآورد شده از همین رابطه بوده و $\alpha(1.p)$ ضریب جزء تصحیح خطاست که سرعت تعدیل را اندازه‌گیری می‌کند. پسران و همکاران (Pesaran et al., 2001)، به منظور بررسی وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها در چارچوب این رهیافت، از آزمون کرانه استفاده کردند. روش آزمون کرانه ARDL بر اساس برآورد حداقل مربعات معمولی^۱ یک الگوی تصحیح خطای نامقید برای تحلیل هم‌انباشتگی بنا شده است. در این آزمون، اگر آماره F برآورد شده بیش از کرانه بالایی مقدار بحرانی باشد، آنگاه فرضیه صفر مبنی بر عدم هم‌انباشتگی رد می‌شود (Shahbaz & Sabihuddin Butt, 2013).

نتایج و بحث

نمودار ۱ روند تغییرات شاخص تولید غذا در ایران را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در ابتدای دوره مورد بررسی، این شاخص ۵۰/۸۲ واحد بوده که با متوسط رشد سالانه ۱/۸۶ درصد، در انتهای دوره، به ۸۳/۸۹ درصد افزایش یافته است.



نمودار ۱- روند تغییرات شاخص تولید غذا در ایران طی دوره مورد مطالعه

آزمون ایستایی یکی از مراحل اساسی در تحلیل‌های سری زمانی است، زیرا وجود روند یا نوسان‌های نامنظم در داده‌ها می‌تواند به برآوردهای نادرست و نتایج گمراه‌کننده منجر شود. در مطالعه حاضر، از آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته^۱ و آزمون KPSS برای بررسی ایستایی متغیرها استفاده شده است. نتایج آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته (ADF) در جدول ۱ نشان می‌دهد که برخی متغیرها مانند لگاریتم دما، لگاریتم بارش و سطح زیر کشت در سطح معنی‌دار (یک درصد) ایستا هستند، در حالی که سایر متغیرها مانند لگاریتم شاخص تولید محصولات کشاورزی، لگاریتم انتشار CO₂، لگاریتم اعتبارات، لگاریتم مصرف انرژی، لگاریتم نیروی کار، و لگاریتم آزادسازی تجاری در سطح غیرایستا قرار دارند، اما پس از تفاضل‌گیری اول، به حالت ایستا می‌رسند. این نتایج حاکی از آن است که مدل‌سازی این متغیرها نیازمند استفاده از روش‌هایی مانند ARDL است که توانایی تحلیل هم‌جمعی بین متغیرهای با سطوح ایستایی متفاوت را دارد. به‌طور کلی،

1. Augmented Dicky-Fuller (ADF)

یافته‌های آزمون ایستایی تأیید می‌کند که یک ترکیب مناسب از متغیرهای ایستا و غیرایستا در مدل وجود دارد و استفاده از روش‌های اقتصادسنجی پیشرفته برای دستیابی به نتایج معتبر ضروری است.

جدول ۱- نتایج ایستایی متغیرها بر اساس آزمون ADF

متغیر	شرح	سطح		اولین تفاضل	
		سطح معنی‌داری	آماره آزمون ADF	سطح معنی‌داری	آماره آزمون ADF
LAPI	لگاریتم شاخص تولید محصول کشاورزی	-۲/۶۶	۰/۲۵	-۷/۸۴***	۰/۰۰
LTEM	لگاریتم دما	-۴/۴۹***	۰/۰۰	-	-
LRAIN	لگاریتم بارش	-۵/۷۱***	۰/۰۰	-	-
LCO2	لگاریتم انتشار CO ₂	-۱/۰۱	۰/۷۳	-۵/۲۲***	۰/۰۰
LREDIT	لگاریتم اعتبارات	-۲/۴۱	۰/۳۶	-۲/۲۴**	۰/۰۲
LEN	لگاریتم مصرف انرژی	-۲/۱۷	۰/۴۸	-۸/۵۰***	۰/۰۰
LLAND	لگاریتم سطح زیر کشت	-۳/۶۴**	۰/۰۴	-	-
LAGEM	لگاریتم نیروی کار	-۲/۶۶	۰/۲۵	-۴/۷۶**	۰/۰۲
LTR	لگاریتم آزادسازی تجاری	-۲/۴۱	۰/۳۶	-۴/۱۴**	۰/۰۱

** و ***، به ترتیب، سطوح معنی‌داری پنج و یک درصد
 مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج آزمون ایستایی KPSS نیز در جدول ۲ آمده است. در این آزمون، فرض صفر «ایستایی» متغیرهاست. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مقدار آماره آزمون LM در این آزمون برای اکثر متغیرهای مورد بررسی بزرگ‌تر از حد بحرانی در سطح پنج درصد است و می‌توان فرض ایستایی متغیرها در این سطح را برای آنها رد کرد. همچنین، مقدار آماره مورد نظر برای متغیرهای لگاریتم بارش و آزادسازی تجاری، به ترتیب، معادل ۰/۲۷ و ۰/۳۰ بوده، که کوچک‌تر از مقادیر بحرانی است و فرض صفر «ایستایی» برای این دو متغیر در سطح پنج درصد رد نمی‌شود. بنابراین، نتایج این آزمون نیز تأیید می‌کند که متغیرهای مورد بررسی از درجه ایستایی متفاوت برخوردارند.

جدول ۲- نتایج ایستایی متغیرها بر اساس آزمون KPSS

متغیر	شرح	آماره آزمون LM
LAPI	لگاریتم شاخص تولید محصول کشاورزی	۰/۶۵**
LTEM	لگاریتم دما	۰/۶۴**
LRAIN	لگاریتم بارش	۰/۲۷
LCO2	لگاریتم انتشار CO ₂	۰/۶۵**
LREDIT	لگاریتم اعتبارات	۰/۵۷**

شرح	متغیر	آماره آزمون LM
لگاریتم مصرف انرژی	LEN	۰/۶۶**
لگاریتم سطح زیر کشت	LLAND	۰/۶۳**
لگاریتم نیروی کار	LAGEM	۰/۶۶**
لگاریتم آزادسازی تجاری	LTR	۰/۳۰
فرضیه صفر: متغیر ایستاست	۱٪	۵٪
مقادیر بحرانی	۰/۷۳	۰/۴۶

** سطح معنی داری پنج درصد
 مأخذ: یافته‌های پژوهش

در رویکرد ARDL، ابتدا لازم است که بین متغیرهای مورد نظر آزمون وجود رابطه بلندمدت انجام شود. در مطالعه حاضر، چنان که پیش‌تر نیز گفته شد، برای بررسی وجود رابطه بلندمدت، از آزمون کرانه‌ها استفاده شده و از این‌رو، پس از برآورد یک الگوی تصحیح به روش حداقل مربعات معمولی (OLS)، فرضیه مربوط به برابر با صفر بودن وقفه متغیرهای مستقل آزمون و آماره F محاسباتی با مقادیر بحرانی ارائه‌شده توسط پسران و همکاران (Pesaran et al., 2021) مقایسه شده، که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. از آنجا که آماره F محاسباتی ۳/۹۸۱ به دست آمده و این مقدار بزرگ‌تر از کرانه بالا در سطوح معنی داری ۹۹ درصد است، فرضیه صفر رد و وجود رابطه بلندمدت در میان متغیرها تأیید می‌شود.

جدول ۳- نتایج آزمون وجود رابطه بلندمدت (آزمون کرانه‌ها)

آماره آزمون	K	ارزش
آماره F	۸	۳/۹۸۱
آماره F		کرانه‌های مقادیر بحرانی
کرانه I1	کرانه I0	درصد معنی داری
۲/۸۵	۱/۸۵	۱۰
۳/۱۵	۲/۱۱	۵
۳/۷۷	۲/۶۲	۱

$$API_t = f(TEM_t, RAIN_t, CO2_t, CREDIT_t, EN_t, LAND_t, AGEM_t, TR_t)$$

مأخذ: یافته‌های پژوهش

باید طول تأخیر بهینه متغیرهای مورد مطالعه قبل از استفاده از مدل ARDL تعیین شود. انتخاب نامناسب وقفه‌ها برای متغیرهای مورد مطالعه می‌تواند منجر به ناسازگاری نتایج شود. بر

اساس نتایج تعیین طول وقفه بهینه بر اساس معیارهای آکائیک، شوارتز و حنانکوبین، وقفه ۲ متناسب با اندازه نمونه در مطالعه حاضر است و می‌توان آن را به‌عنوان وقفه بهینه انتخاب کرد.

جدول ۴- معیارهای انتخاب وقفه در مدل

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
۰	۴۲۵/۵۰	NA	$۲/۲۸ \times ۱۰^{-۲۲}$	-۲۷/۱۲	-۲۶/۷۵	-۲۷/۰۰۸
۱	۶۱۹/۴۵	۲۷۱/۰۲	$۷/۲۶ \times ۱۰^{-۲۶}$	-۳۵/۳۱	-۳۱/۹۸	-۳۴/۲۳
۲	۷۳۸/۵۰	۱۰۷/۵۳*	$۵/۳۶ \times ۱۰^{-۲۷}$	-۳۸/۸۷*	-۳۲/۵۸*	-۳۶/۸۲*

* سطح معنی‌داری ده درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مصرف انرژی (با ضریب ۲/۶۴۲) و سطح زیر کشت (با ضریب ۲/۲۵۰) به‌عنوان قوی‌ترین عوامل مثبت شناسایی شده‌اند، که نشان‌دهنده وابستگی شدید بخش کشاورزی ایران به نهاده‌های انرژی‌بر و توسعه فیزیکی است. این ضریب کشت بالا، که ممکن است در نگاه اول غیرمنتظره به‌نظر برسد، به‌شدت با ساختار و نیازهای بخش کشاورزی ایران مرتبط است. افزایش چشمگیر مصرف انرژی در این بخش عمدتاً صرف مکانیزاسیون فرآیندها (مانند تراکتورها، ماشین‌آلات برداشت و پمپ آب)، سامانه‌های نوین آبیاری برای مدیریت بهینه منابع محدود آب، و توسعه گلخانه‌ها برای کشت خارج فصل و کنترل‌شده می‌شود. در شرایطی که بخش کشاورزی ایران با چالش‌هایی چون خشکسالی و محدودیت منابع آبی مواجه است، انرژی به‌عنوان موتور محرکه اصلی برای غلبه بر این محدودیت‌ها عمل می‌کند، به‌گونه‌ای که با دسترسی مطمئن و کافی به انرژی، امکان بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک فراهم می‌شود و بهره‌وری نیروی کار و سرمایه به‌میزان قابل توجه افزایش می‌یابد. علاوه بر این، انرژی در زنجیره ارزش پس از برداشت، از جمله سردخانه‌ها و فرآوری، نقش کلیدی ایفا می‌کند، که کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده را به‌دنبال دارد. بنابراین، ضریب بالای به‌دست‌آمده نشان‌دهنده وابستگی راهبردی و حیاتی بخش کشاورزی ایران به مصرف انرژی برای دستیابی به سطوح بالاتر تولید و بهره‌وری است. در کشورهای در حال توسعه، نوسازی از طریق انرژی به‌شدت بهره‌وری را افزایش می‌دهد. در چنین مواردی، کشت بالاتر از یک نشانگر آن است که بخش انرژی هنوز در مرحله بازدهی فزاینده قرار دارد. همچنین، در بسیاری از کشورها، مصرف انرژی با ورود ماشین‌آلات، کود شیمیایی یا فناوری جدید هم‌جهت است. بنابراین، ضریب انرژی ممکن است بخشی از تأثیر فناوری پنهان را هم جذب کرده باشد؛ البته، باید توجه داشت که شاخص تولید غذا متغیری ترکیبی و نرمال‌شده است و از این‌رو، تغییرات کوچک در نهاده‌ها ممکن است اثر نسبی بیشتری در شاخص ایجاد کند. قوش و همکاران

(Ghosh et al., 2023) نشان دادند که افزایش یک درصدی در مصرف انرژی می‌تواند منجر به افزایش ۰/۱۲۴ درصدی ارزش افزوده بخش کشاورزی بنگلادش شود. از طرف دیگر، نیروی کار کشاورزی (با ضریب ۱/۵۴۰) همچنان نقشی مهم در شاخص تولید محصولات کشاورزی در ایران ایفا می‌کند، اما با توجه به روند کاهشی اشتغال در این بخش، نیاز به مکانیزاسیون و افزایش بهره‌وری نیروی کار بیش از پیش احساس می‌شود. یافته‌های تحقیق حاضر حاکی از تأثیر منفی آزادسازی تجاری (با ضریب -۱/۰۸۱) بر تولید غذا در ایران است. بر اساس ضریب برآوردی، می‌توان گفت که با افزایش روابط تجاری در ایران، شاخص تولید محصولات کشاورزی، با فرض ثابت بودن سایر شرایط، ۱/۰۸۱ درصد کاهش یافته است. با مرور ادبیات موضوع، مشخص می‌شود که این نتیجه کاملاً قابل توجیه است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که در کشورهای در حال توسعه، آزادسازی تجاری می‌تواند با افزایش واردات محصولات کشاورزی ارزش قیمتی، انگیزه تولید داخلی را کاهش دهد. پژوهش‌های چاندیو و همکاران (Chandio et al., 2022b) در بنگلادش و دیتمر و عبداللهی (Dithmer & Abdulai, 2017) در نمونه‌ای از کشورهای در حال توسعه به نتایج مشابه دست یافته‌اند. در مورد ایران، این اثر منفی می‌تواند ناشی از ساختار سنتی بخش کشاورزی، کمبود سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و ناتوانی تولیدکنندگان داخلی در رقابت با محصولات وارداتی باشد.

جدول ۵- نتایج برآورد رابطه بلندمدت عوامل مؤثر بر تولید غذا

متغیر	ضریب	آماره-t	انحراف معیار	احتمال
لگاریتم دما	۰/۴۴۵	-۱/۳۵۸	-۰/۳۲۷	۰/۲۱۱
لگاریتم بارش	۰/۵۶۵***	۴/۱۹۷	-۰/۱۳۴	۰/۰۰۳
لگاریتم انتشار CO2	-۰/۰۱۱**	-۲/۲۰۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۳۱
لگاریتم اعتبارات	۰/۰۵۳	۱/۰۳۵	-۰/۰۵۱	۰/۳۳۱
لگاریتم مصرف انرژی	۲/۶۴۲***	۴/۸۸۱	-۰/۵۴۱	۰/۰۰۱
لگاریتم سطح زیرکشت	۲/۲۵۰***	۴/۲۸۸	-۰/۵۲۴	۰/۰۰۲
لگاریتم نیروی کار	۱/۵۴۰***	۳/۴۹۴	-۰/۴۴۰	۰/۰۰۸
لگاریتم آزادسازی تجاری	-۱/۰۸۱***	-۳/۴۵۶	-۰/۳۱۲	۰/۰۰۸
عرض از مبدأ	-۲۵/۰۳۹***	-۴/۴۷۷	۵/۵۹۲	۰/۰۰۲

** و ***، به ترتیب، سطوح معنی‌داری پنج و یک درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج برآورد رابطه کوتاه‌مدت بین عوامل مؤثر بر شاخص تولید محصولات کشاورزی با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی یا همان الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL) در جدول ۶ آمده است. بر اساس این نتایج، ضرایب متغیرها نشان می‌دهد که تغییرات کوتاه‌مدت در سطح زیر کشت، اعتبارات اختصاص یافته به بخش کشاورزی، مصرف انرژی، بارش،

دما، نیروی کار، و آزادسازی تجاری تأثیر معنی‌دار بر تولید غذا دارند. برای نمونه، ضریب متغیر لگاریتم سطح زیر کشت در کوتاه‌مدت برابر با ۰/۹۵۵ بوده، که نشان‌دهنده اهمیت حیاتی توسعه زیرساخت‌های کشاورزی و افزایش سطح زیر کشت در بهبود تولید غذاست. این یافته با ادبیات موجود در حوزه امنیت غذایی همخوانی دارد، زیرا منابع زمین‌های کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در تأمین نیازهای غذایی جوامع شناخته می‌شود. چان‌دیو و همکاران (Chandio et al., 2022b)، در بنگلادش، نشان دادند که افزایش یک درصدی در سطح زیر کشت می‌تواند منجر به افزایش ۱/۵۳۴ درصدی در تولید غلات در این کشور شود.

تأثیر مثبت و معنی‌دار اعتبارات (ضریب ۰/۱۹۸) در رابطه کوتاه‌مدت به‌وضوح نقش حیاتی سیاست‌های مالی و تسهیلات بانکی را در توسعه و پشتیبانی از بخش کشاورزی تأیید می‌کند. این یافته نشان می‌دهد که دسترسی به منابع مالی و تسهیلات اعتباری می‌تواند به کشاورزان و تولیدکنندگان مواد غذایی کمک کند تا فعالیت‌های خود را گسترش و بهره‌وری را افزایش دهند. از اعتبارات ارائه‌شده می‌توان برای خرید ماشین‌آلات کشاورزی، بهبود زیرساخت‌ها، به‌کارگیری فناوری‌های نوین و مدیریت بهتر منابع آب و خاک استفاده کرد. این موضوع، به‌ویژه در شرایط اقتصادی ایران که بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از اهرم‌های اصلی تأمین امنیت غذایی عمل می‌کند، بسیار اهمیت دارد. بنابراین، از طراحی و اجرای سیاست‌های اعتباری هدفمند می‌توان به‌عنوان ابزاری مؤثر در راستای تقویت ظرفیت‌های تولیدی بخش کشاورزی و کاهش وابستگی به واردات غذا استفاده کرد. این نتیجه نیز با ادبیات موجود در حوزه امنیت غذایی و توسعه کشاورزی کاملاً همخوانی دارد. در پژوهش چان‌دیو و همکاران (Chandio et al., 2022b)، میزان تأثیر متغیر توسعه مالی در بهبود تولید غلات در بنگلادش ۰/۷۹۸ درصد به‌دست آمده است.

از سوی دیگر، تأثیر متغیرهای اقلیمی مانند بارش و دما نیز در این مدل، به‌وضوح مشهود است. ضریب متغیر بارش برابر با ۰/۱۴۶ است که در سطحی قابل قبول معنی‌دار است. بنابراین، می‌توان گفت که افزایش بارش می‌تواند به‌طور مستقیم، بر عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر مثبت بگذارد. این موضوع، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، از اهمیت بالا برخوردار است، زیرا بارش به‌عنوان یکی از منابع اصلی آب برای کشاورزی عمل می‌کند. در مقابل، ضریب منفی و معنی‌دار دما برابر با ۰/۴۲۸- نشان‌دهنده این است که افزایش دما می‌تواند به‌صورت منفی بر تولید غذا تأثیر بگذارد. این یافته با پیش‌بینی‌های مربوط به تغییر اقلیم همسوست، زیرا افزایش دما معمولاً با کاهش رطوبت خاک، افزایش تبخیر و تشدید شرایط خشکسالی همراه است. بنابراین، مدیریت منابع آب و اجرای برنامه‌های مقابله با تغییر اقلیم ضروری به‌نظر می‌رسد.

در ادامه، نتایج نشان می‌دهند که مصرف انرژی و آزادسازی تجاری نیز تأثیر مثبت و معنی‌دار بر تولید غذا دارند. ضریب مصرف انرژی (۰/۸۱۷) نشان‌دهنده این است که در کوتاه‌مدت،

افزایش یک درصدی مصرف انرژی منجر به افزایش ۰/۸۱۷ درصدی شاخص تولید غذایی می‌شود. از سوی دیگر، ضریب مثبت آزادسازی تجاری (۰/۴۵۴) نشان می‌دهد که افزایش دسترسی به بازارهای جهانی و تسهیل تجارت می‌تواند در کوتاه‌مدت، به بهبود تولید غذا کمک کند. در کوتاه‌مدت، آزادسازی تجاری، با افزایش دسترسی به نهاده‌های ارزان قیمت مانند کودها و ماشین‌آلات کشاورزی، به بهبود تولید کمک می‌کند؛ اما در بلندمدت، رقابت با محصولات وارداتی ارزان قیمت می‌تواند انگیزه تولید داخلی را کاهش دهد و تأثیر منفی بر عملکرد بخش کشاورزی داشته باشد. این تفسیر با نتایج مطالعاتی همچون دیتمر و عبداللهی (Dithmer & Abdulai, 2017) همسوست. این موضوع نشان می‌دهد که اثرات آزادسازی تجاری در کشورهای در حال توسعه می‌تواند نامتقارن باشد و بسته به دوره زمانی مورد مطالعه، نتایج متفاوت به دست دهد. این یافته می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا با اتخاذ رویکردهای مناسب در حوزه تجارت بین‌المللی، امنیت غذایی را تقویت کنند. البته، لازم است که تأثیرات منفی واردات بی‌رویه و وابستگی به بازارهای جهانی نیز در نظر گرفته شود.

جدول ۶- نتایج برآورد رابطه کوتاه‌مدت عوامل مؤثر بر تولید غذا با بهره‌گیری از

الگوی ARDL (2,2,0,2,1,2,1,2,2)

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره t	احتمال
تفاضل وقفه متغیر وابسته	-۰/۵۷۲***	۰/۱۲۴	-۴/۵۸۹	۰/۰۰۱
تفاضل لگاریتم سطح زیر کشت	۰/۹۵۵***	۰/۰۸۶	۱۱/۰۴	۰/۰۰۰
تفاضل وقفه لگاریتم سطح زیر کشت	۰/۴۸۷***	۰/۱۰۹	۴/۴۵	۰/۰۰۲
تفاضل لگاریتم اعتبارات	۰/۱۹۸***	۰/۰۶۲	۳/۱۷	۰/۰۱۳
تفاضل وقفه لگاریتم اعتبارات	-۰/۴۴۱***	۰/۰۶۹	-۶/۳۶	۰/۰۰۰
تفاضل لگاریتم مصرف انرژی	۰/۸۱۷***	۰/۱۵۳	۵/۳۳	۰/۰۰۰
تفاضل لگاریتم بارش	۰/۱۴۶***	۰/۰۱۹	۷/۵۷۹	۰/۰۰۰
تفاضل وقفه لگاریتم بارش	-۰/۰۵۲***	۰/۰۱۵	-۳/۳۳	۰/۰۱۰
تفاضل لگاریتم دما	-۰/۴۲۸***	۰/۰۸۱	-۵/۲۶	۰/۰۰۰
تفاضل لگاریتم نیروی کار	۰/۱۸۷	۰/۱۱۴	۱/۶۳	۰/۱۴۰
تفاضل وقفه لگاریتم نیروی کار	-۰/۶۰۸***	۰/۱۳۸	-۴/۴۰	۰/۰۰۲
تفاضل لگاریتم تجارت آزاد	۰/۴۵۴***	۰/۰۷۴	۶/۰۶	۰/۰۰
تفاضل وقفه لگاریتم تجارت آزاد	۰/۷۰۷***	۰/۱۱۰	۶/۳۸	۰/۰۰۰
جمله تصحیح خطا	-۰/۶۰۵***	۰/۰۶۵	-۹/۱۹	۰/۰۰۰
	۰/۹۴		R ²	
	۲/۰۶۱		آماره دوربین- واتسون	

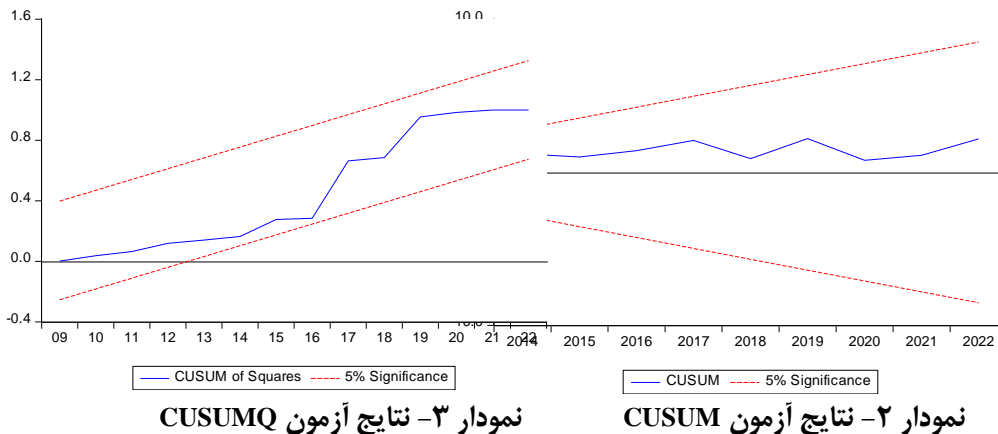
*** سطح معنی‌داری یک درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در نهایت، وجود جمله تصحیح خطا با ضریب ۰/۶۰۵- نشان‌دهنده قابلیت تنظیم بلندمدت در این مدل است. این ضریب نشان می‌دهد که حدود شصت درصد از عدم تعادل در کوتاه‌مدت در

هر دوره به سمت تعادل بلندمدت تنظیم می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده ثبات مدل و ارتباط قوی بین روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت است. همچنین، مقدار بالای ضریب تعیین و آماره دوربین-واتسون گویای برازش خوب مدل و عدم وجود خودهمبستگی در باقی‌مانده‌هاست. این نتایج، به‌طور کلی، نشان می‌دهند که عوامل مختلف اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی به‌صورت هماهنگ بر تولید غذا تأثیر می‌گذارند و برای ارتقای تولید مواد غذایی در ایران، نیاز به اتخاذ راهبردهای جامع و یکپارچه است که شامل مدیریت منابع طبیعی، توسعه زیرساخت‌های کشاورزی، و افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته باشند.

به‌منظور بررسی پایداری ضرایب مدل، از آزمون‌های CUSUM و CUSUMQ استفاده شده که به‌ترتیب، بر پایه جمع تجمعی جملات پسماند بازگشتی و جمع تجمعی مربعات جملات پسماند بازگشتی است. نتایج این دو آزمون در سطح معنی‌داری پنج درصد در نمودارهای ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. از آنجا که مقادیر جمع تجمعی جملات پسماند بازگشتی (CUSUM) و جمع تجمعی مربعات جملات پسماند بازگشتی (CUSUMQ) در این نمودارها از حدود بحرانی خارج نشده‌اند، وجود ثبات ساختاری در معادله تأیید می‌شود. بنابراین، مدل برآوردی از پایداری برخوردار بوده و ضرایب برآوردشده در سطح پنج درصد از ثبات قابل قبول برخوردارند.



جمع‌بندی و پیشنهادها

افزایش فعالیت‌های انسانی سبب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن شده، که نتیجه آن جذب بیشتر امواج فروسرخ و در نهایت، افزایش دمای کره زمین و تغییرات اقلیم گسترده است. این تغییرات اقلیمی اثرات متفاوت بر مناطق جغرافیایی دارند و در برخی مناطق مانند ایران که در ناحیه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، تأثیرات منفی بیشتری برجای می‌گذارند. وقوع تغییرات اقلیم، حتی به‌صورت جزئی، می‌تواند بر تمام ارکان زندگی بشر و حیات طبیعی اثرات

چشمگیر و قابل توجه داشته باشد. در این میان، اثرپذیری بخش کشاورزی از تغییرات آب‌وهوایی بیش از بخش‌های دیگر بوده و تولید محصولات کشاورزی، به‌طور مستقیم، بدین تغییرات وابسته است. این بخش، هم از نظر اقتصادی و هم از نظر فیزیکی، از تغییر عوامل اقلیمی همچون درجه حرارت و بارندگی آسیب‌پذیر است. در مطالعه حاضر، به بررسی اثر عوامل مختلف از جمله متغیرهای اقلیمی (دما، بارش و انتشار دی‌اکسید کربن) در کنار متغیرهای غیراقلیمی بر میزان تولید بخش کشاورزی ایران پرداخته شده و بدین منظور، از داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۲ و مدل خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده (ARDL) استفاده شده است تا روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت بین متغیرها ارزیابی شود. نتایج پژوهش نشان داد که افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن در بلندمدت تأثیر منفی بر تولیدات کشاورزی داشته است؛ هرچند، ضریب دما از نظر آماری در بلندمدت معنی‌دار نبوده، که احتمالاً نشان‌دهنده اثرات غیرخطی یا تعدیل‌کننده سایر عوامل است. در مقابل، بارش در هر دو بازه زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت تأثیر مثبت و معنی‌دار بر تولید داشته است. یافته‌های کلیدی حاکی از آن است که شدت تأثیرپذیری تولید کشاورزی از متغیرهای اقلیمی در بلندمدت بیش از کوتاه‌مدت است. این پدیده احتمالاً ناشی از سازوکارهای تجمعی مانند تخریب تدریجی خاک، کاهش تنوع زیستی و تشدید تنش‌های محیطی است. با توجه به تأثیر منفی بلندمدت تغییرات اقلیمی بر تولید بخش کشاورزی، اتخاذ راهبردهای سازگاری و کاهش اثرات اقلیم ضروری است. بر این اساس، در محور اقلیمی، توسعه و گسترش سامانه‌های آبیاری هوشمند و کم‌مصرف به‌منظور افزایش تاب‌آوری در برابر تغییرات دما و بارش، سرمایه‌گذاری در تحقیقات اقلیم‌محور برای تولید و اصلاح ارقام مقاوم به خشکی و تنش‌های زیست‌محیطی، کنترل انتشار کربن و آلودگی‌ها از طریق اصلاح الگوی کشت و استفاده از کودها و نهاده‌های کربن و حذف ماشین‌آلات فرسوده از چرخه تولید پیشنهاد می‌شود.

مطالعه حاضر نشان داد که اگرچه مصرف انرژی- اعم از کوتاه‌مدت و بلندمدت- تأثیر مثبت و معنی‌دار بر تولید محصولات کشاورزی داشته است (عمدتاً از طریق مکانیزاسیون، سامانه‌های آبیاری پیشرفته و زنجیره تأمین نهاده‌ها)، این رابطه مطلوب یک چالش زیست‌محیطی جدی ایجاد می‌کند. افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی منجر به انتشار بیشتر دی‌اکسید کربن می‌شود که بر پایه یافته‌های پژوهش حاضر، در بلندمدت، اثرات منفی قابل توجه بر تولید کشاورزی ایران دارد. این تناقض نیازمند راهکارهایی هوشمندانه است که هم مزایای انرژی برای بخش کشاورزی را حفظ کند و هم از پیامدهای منفی زیست‌محیطی آن بکاهد. در محور انرژی- کشاورزی، اگرچه نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مصرف انرژی موجب رشد شاخص تولید کشاورزی می‌شود، اما پیامدهای زیست‌محیطی آن ضرورت تغییر رویکرد را نمایان می‌سازد. بر این اساس، سیاست‌های پیشنهادی عبارت‌اند از: توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی

مانند سامانه‌های خورشیدی برای آبیاری) در راستای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی؛ بهبود راندمان انرژی در ماشین‌آلات کشاورزی از طریق فناوری‌های بهینه و تعمیر و نگهداری هوشمند؛ طراحی مشوق‌های مالی برای فناوری‌های کم‌کربن و تجهیز مزارع به سامانه‌های پایش مصرف انرژی؛ و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه روش‌های کشاورزی هوشمند اقلیمی. این سیاست‌ها را می‌توان به‌عنوان راهکارهای دستیابی به تولید پایدار کشاورزی توصیه کرد، راهکارهایی که نه تنها می‌تواند بهره‌وری کشاورزی را حفظ کند، بلکه از تشدید اثرات تغییرات اقلیمی بر امنیت غذایی نیز جلوگیری خواهد کرد. یافته‌های پژوهش حاضر بر ضرورت اتخاذ رویکردی یکپارچه در سیاست‌گذاری انرژی - کشاورزی تأکید دارد که هم‌زمان اهداف تولیدی و زیست‌محیطی را مد نظر قرار دهد.

یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که آزادسازی تجاری در کوتاه‌مدت اثر مثبت بر تولید کشاورزی داشته است، که می‌تواند ناشی از دسترسی سریع به نهاده‌های ارزان قیمت، فناوری‌های جدید و گسترش بازارهای صادراتی باشد. با این همه، اثر منفی بلندمدت آزادسازی تجاری ممکن است به دلیل وابستگی فزاینده به واردات نهاده‌ها، کاهش توان رقابتی تولیدکنندگان کوچک مقیاس در برابر رقبای خارجی، و تخصیصی شدن بیش از حد در محصولات کم‌ارزش باشد که آسیب‌پذیری بخش کشاورزی را افزایش می‌دهد. نکته قابل تأمل این است که شدت تأثیرپذیری از آزادسازی تجاری در بلندمدت بیش از کوتاه‌مدت بوده، که نشان‌دهنده اثرات تجمعی و ساختاری این سیاست‌هاست. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، اجرای تدریجی آزادسازی تجاری همراه با حمایت‌های هدفمند از تولیدکنندگان داخلی و واحدهای کوچک مقیاس برای افزایش قدرت رقابت‌پذیری، توسعه زنجیره ارزش محصولات کشاورزی با تمرکز بر افزایش بهره‌وری، نوآوری و تقویت مزیت نسبی بلندمدت، طراحی سازوکارهای حمایتی از تولید داخلی برای کاهش وابستگی به واردات نهاده‌ها و جلوگیری از آسیب‌پذیری ساختاری و سرانجام، ایجاد پیوند بین سیاست‌های تجاری و اقلیمی به‌منظور جلوگیری از تمرکز بیش از حد بر محصولات کم‌ارزش و حفظ تنوع تولیدی بخش کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

در پژوهش حاضر، با وجود دستاوردهای قابل توجه، برخی محدودیت‌ها نیز وجود داشته که لازم است در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد: اول آنکه استفاده از داده‌های سالانه ممکن است به نادیده گرفتن بخشی از تغییرات کوتاه‌مدت و نوسان‌های فصلی بینجامد؛ از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آتی از داده‌های ماهانه و فصلی برای افزایش دقت نتایج بهره‌گیرند. دوم آنکه تمرکز پژوهش حاضر بر روابط خطی میان متغیرها بوده، در حالی که بررسی اثرات غیرخطی متغیرهای اقلیمی از طریق کاربرد مدل‌هایی نظیر الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده

غیرخطی^۱ یا مدل‌های آستانه‌ای می‌تواند تصویری واقع بینانه‌تر در زمینه پویایی‌های مورد بررسی به دست دهد. سرانجام آنکه عدم لحاظ توان دوم متغیر انتشار دی‌اکسید کربن در مدل‌سازی، احتمال چشم‌پوشی از اثرات غیرخطی یا نقطه‌های بازگشت را در ارتباط بین انتشار کربن و متغیرهای اقتصادی به همراه دارد؛ از این رو، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، برای غنای بیشتر نتایج، این نکات در طراحی مدل لحاظ شود.

منابع

1. Ahmed, M., Shuai, J., & Ali, H. (2024). The effects of climate change on food production in India: evidence from the ARDL model. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 14601-14619.
2. Ahsan, F., Chandio, A. A., & Fang, W. (2020). Climate change impacts on cereal crops production in Pakistan: evidence from cointegration analysis. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(2), 257-269.
3. Asghar, N., & Salman, A. (2018). Impact of agriculture credit on food production and food security in Pakistan. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 12(3), 851-864.
4. Ayyildiz, M., & Erdal, G. (2021). The relationship between carbon dioxide emission and crop and livestock production indexes: a dynamic common correlated effects approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 597-610.
5. Bhuyan, B., Mohanty, R. K., & Patra, S. (2023). Impact of climate change on food security in India: an evidence from autoregressive distributed lag model. *Environment, Development and Sustainability*, 27, 6349–6369.
6. Chandio, A. A., Gokmenoglu, K. K., Ahmad, M., & Jiang, Y. (2022a). Towards sustainable rice production in Asia: the role of climatic factors. *Earth Systems and Environment*, 6, 1-14.
7. Chandio, A. A., Jiang, Y., Fatima, T., Ahmad, F., Ahmad, M., & Li, J. (2022b). Assessing the impacts of climate change on cereal production in Bangladesh: evidence from ARDL modeling approach. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 14(2), 125-147.

1. Non-linear Auto-Regressive with Distributed Lags (NARDL)

8. Demirhan, H. (2020). Impact of increasing temperature anomalies and carbon dioxide emissions on wheat production. *Science of the Total Environment*, 741, 139616.
9. Deressa, T. T., & Hassan, R. M. (2009). Economic impact of climate change on crop production in Ethiopia: evidence from cross-section measures. *Journal of Africa Economics*, 18, 529-554.
10. Dithmer, J., & Abdulai, A. (2017). Does trade openness contribute to food security? A dynamic panel analysis. *Food policy*, 69, 218-230.
11. FAO (2024). FAO STAT, Iran, the Islamic Republic. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy. Available at <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
12. Florea, N. M., Badircea, R. M., Pirvu, R. C., Manta, A. G., Doran, M. D., & Jianu, E. (2020). The impact of agriculture and renewable energy on climate change in Central and East European Countries. *Agricultural Economics*, 66(10), 444-457.
13. Ghosh, B. C., Eyasmin, F., & Adeleye, B. N. (2023). Climate change and agriculture nexus in Bangladesh: evidence from ARDL and ECM techniques. *PLOS Climate*, 2(7), e0000244.
14. Global Data Lab. (2024). *Global Data Lab*. <https://globaldatalab.org/>
15. Haji-Rahimi, M., Asaadi, M. A., & Sharaifi, F. (2024). The impact of climate change on cereal production and food security in Iran. *Climate Change Research*, 5(20), 65-78. [In Persian]
16. Hosseini, S., Pakravan, M., & Etghaei, M. (2013). Effects of agriculture sector total support estimate on food security in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 44(4), 533-544. [In Persian]
17. Huq, N., Huye, J., Boon, E. E., & Gain, A. K. (2015). Climate change impacts in agricultural communities in rural areas of coastal Bangladesh: a tale of many stories. *Sustainability*, 7(7), 1-24.
18. Javadi, A., Ghahremanzadeh, M., Sassi, M., Javanbakht, O., & Hayati, B. (2023). Economic evaluation of the climate changes on food security in Iran: application of CGE model. *Theoretical and Applied Climatology*, 151(1), 567-585.

19. Li, Y., Li, X., Tan, M., Wang, X., & Xin, L. (2018). The impact of cultivated land spatial shift on food crop production in China, 1990-2010. *Land Degradation and Development*, 29(6), 1652-1659.
20. Mahdavian, S. M., Askari, F., Kioumars, H., Naseri Harsini, R., Dehghanzadeh, H., & Saboori, B. (2024). Modeling the linkage between climate change, CH₄ emissions, and land use with Iran's livestock production: a food security perspective. *Proceedings of Natural Resources Forum*. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd.
21. Malawi, A. I., & AlMansi, M. (2014). Economic Globalization and Labor Productivity: An Application of Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Bounds Testing Approach. *International Journal of Business and Statistical Analysis*, 1(01), 254-278.
22. Mendelsohn, R., Dinar, A., & Williams, L. (2006). The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment, Development, Economics*, 11, 159-178.
23. Nonhebel, S. (2005). Renewable energy and food supply: Will there be enough land?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(2), 191-201.
24. Our World in Data (2023). Agriculture share in GDP, Iran, the Islamic Republic. Available at <https://ourworldindata.org/grapher/agriculture-share-gdp?tab=chart&country=~IRN>.
25. Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1998). An autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. *Econometric Society Monographs*, 31, 371-413.
26. Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
27. Pickson, R. B., He, G., Ntiamoah, E. B., & Li, C. (2020). Cereal production in the presence of climate change in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45802-45813.
28. Praveen, B., & Sharma, P. (2019). A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity, *Journal of Public Affairs*, 19(4), e1960.
29. Shahbaz, M., Shahbaz Shabbir, M., & Sabihuddin Butt, M. (2013). Effect of financial development on agricultural growth in Pakistan: new

extensions from bounds test to level relationships and Granger causality tests. *International Journal of Social Economics*, 40(8), 707-728.

30. Soumbara, S. A., & El Ghini, A. (2024). Asymmetric effects of climate variability on food security in Morocco: evidence from the nonlinear ARDL model. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 14(5), 1109-1126.
31. Tagwi, A. (2022). The impacts of climate change, carbon dioxide emissions (CO₂) and renewable energy consumption on agricultural economic growth in South Africa: ARDL approach. *Sustainability*, 14(24), 16468.
32. Van Huong, N., Nguyet, B. T. M., Van Hung, H., Duc, H. M., Van Chuong, N., Tri, D. M., & Van Hien, P. (2022). Economic impact of climate change on agriculture: a case of Vietnam. *AgBioForum*, 24(1), 1-12.
33. Warsame, A. A., Sheik-Ali, I. A., Ali, A. O., & Sarkodie, S. A. (2021). Climate change and crop production nexus in Somalia: an empirical evidence from ARDL technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19838-19850.
34. World Bank (2023). Agriculture share in employment. Available at <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS>.
35. World Bank. (2024). *World Development Indicators*. <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>
36. Xu, N., Zhang, L., & Leng, X. (2022). Sustainable food production from a labor supply perspective: policies and implications. *Sustainability*, 14(23), 15935.
37. Zakaria, M., Jun, W. T., & Khan, M. F. (2019). Impact of financial development on agricultural productivity in South Asia. *Agricultural Economics*, 65(5), 232-239.