



## The Impact of Climate Change on Cereal Production and Food Security in Iran

Mahmoud Haji Rahimi<sup>1\*</sup>, Fereshteh Sharifii<sup>2</sup>, Mohammad Ali Asaadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Kurdistan, University of Kurdistan, Iran, Email: mhajirahimi@uok.ac.ir

<sup>2</sup> Master's Student, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan

<sup>3</sup> PhD Graduate in Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

Article history:  
Received: 2024-8-8  
Accepted: 2024-9-24

**Keywords:**  
ARDL model  
Time series pattern  
Climate change  
Food security

### ABSTRACT

The increasing global population and rising food demand have placed immense pressure on the environment, leading to increased exploitation of natural resources, pollution, and ultimately, climate change. This study aims to investigate the short-term and long-term impacts of climate change indicators on cereal production in Iran. To achieve this, an Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model was estimated using annual time series data from 2000 to 2023. The estimation results revealed that cultivated area, precipitation, and chemical fertilizer consumption had a positive and significant impact on cereal production in Iran, both in the short and long run. While technological improvement did not significantly affect cereal production in the short term, they had a positive and significant impact in the long run, indicating the beneficial influence of mechanization and modern production methods. In contrast to technological change, the positive impact of energy consumption was significant in the short term but insignificant in the long term. More importantly, the results showed that increasing temperature and CO<sub>2</sub> emissions, as indicators of climate change, had a negative and significant impact on cereal production in Iran, both in the short and long run. These findings serve as a serious warning about the detrimental effects of climate change on the country's food security. Based on the results, it is recommended that efforts to manage climate change in Iran be strengthened, and that the country actively participate in international efforts and agreements in this regard. Based on the results, it is recommended that, given the importance of land in ensuring food security and the challenges associated with the productivity of fragmented lands, policymakers should develop a comprehensive plan for land consolidation in agriculture. Additionally, further fragmentation of agricultural lands should be prevented to enhance productivity and sustainability of production, ensuring long-term production capacity.

Cite this article: Haji Rahimi, M., Sharifii, F., Asaadi, M.A. (2024). The Impact of Climate Change on Cereal Production and Food Security in Iran. *Journal of the Climate Change research*, 5 (20), 65-78.





## بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روند تولید غلات و امنیت غذایی در ایران

محمود حاجی رحیمی<sup>۱\*</sup>، فرشته شریفی<sup>۲</sup>، محمدعلی اسعدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران، رایانامه: mhajirahimi@uok.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

<sup>۳</sup> فارغ التحصیل دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۳</p> <p>واژه‌های کلیدی: مدل ARDL الگوی سری زمانی تغییرات آب و هوایی امنیت غذایی</p>	<p>تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان و افزایش تقاضای روزافزون، فشار فزاینده‌ای بر محیط‌زیست وارد کرده که منجر به استفاده بیشتر از منابع طبیعی، آلودگی آب و هوا و در نهایت تغییرات اقلیمی شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیرات کوتاه مدت و بلند مدت شاخص‌های تغییر اقلیم بر تولید غلات در ایران، انجام شد. برای این منظور، یک مدل خودرگرسیون برداری با وقفه توزیعی (ARDL) با استفاده از داده‌های سالانه سری زمانی طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۳ برآورد شد. نتایج حاصل از تخمین مدل نشان داد متغیرهای سطح زیرکشت، میزان بارش و مصرف کود شیمیایی در بلندمدت و کوتاه‌مدت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید غلات در ایران در طول دوره مورد مطالعه داشته‌اند. نتایج همچنین حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار متغیر بهبود تکنولوژی بر تولید غلات در کوتاه‌مدت بود، اما در بلندمدت تغییر تکنولوژی و استفاده از روش‌های مکانیزه و نوین تولید تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید غلات داشته است. متغیر مصرف انرژی در کوتاه مدت تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و در بلندمدت معنی‌دار نبود. همچنین، نتایج نشان داد افزایش دما و انتشار CO<sub>2</sub> به عنوان شاخص‌های تغییر اقلیم، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تأثیر منفی و معنی‌دار بر تولید غلات در ایران در طول دوره مورد بررسی داشته‌اند؛ که این نتایج می‌تواند به عنوان یک هشدار جدی در ظهور آثار مخرب تغییر اقلیم بر امنیت غذایی کشور در نظر گرفته شود. براساس نتایج، توصیه می‌شود با توجه به اهمیت زمین در تأمین امنیت غذایی و چالش‌های مرتبط با بهره‌وری اراضی قطعه‌قطعه شده، ضروری است سیاست‌گذاران طرحی جامع برای یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی تدوین کنند. همچنین، باید از تفکیک بیشتر زمین‌های کشاورزی جلوگیری شود تا بهره‌وری و پایداری تولید ارتقا یابد و توان تولید در بلندمدت حفظ شود.</p>

**استناد:** حاجی رحیمی، محمود؛ شریفی، فرشته؛ اسعدی، محمدعلی (۱۴۰۳). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روند تولید غلات و امنیت غذایی در ایران. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۵ (۲۰)، ۶۵-۷۸.



## مقدمه

جمعیت جهان در سال ۲۰۲۲ از مرز هشت میلیارد نفر گذشت و پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد حاکی از آن است که این رقم تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۷ میلیارد نفر خواهد رسید (UN, 2023). این افزایش چشمگیر جمعیت، چالش‌های عمده‌ای را در زمینه تأمین غذا و حفاظت از محیط‌زیست ایجاد می‌کند. طبق پیش‌بینی برنامه هفتم توسعه کشور، جمعیت ایران در سال ۱۴۳۰ به ۱۰۵ میلیون نفر خواهد رسید که نیازمند تولید حدود ۱۸۰ میلیون تن غذا خواهد بود (لایحه برنامه هفتم توسعه، ۱۴۰۲). این افزایش تقاضا برای مواد غذایی، فشار زیادی بر منابع طبیعی و تولیدات کشاورزی کشور وارد می‌کند، به‌ویژه در شرایطی که تغییرات اقلیمی چالش‌های بزرگی را بر سر راه تولیدات کشاورزی ایجاد کرده است. (آهنی و افشار کاظمی، ۱۴۰۰). این رویکرد، منجر به استفاده گسترده‌تر از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و تخریب جنگل‌ها و مراتع می‌شود.

افزایش فعالیت‌های انسانی سبب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن شده است که نتیجه آن جذب بیشتر امواج فرسرخ و در نهایت، افزایش دمای کره زمین و تغییرات اقلیمی گسترده است (Janjua et al., 2014). این تغییرات اقلیمی اثرات متفاوتی بسته به مناطق جغرافیایی دارند و در برخی مناطق، از جمله ایران که در ناحیه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، تأثیرات منفی بیشتری برجای می‌گذارند (علیپور و همکاران، ۱۳۹۳). به‌دنبال این تغییرات، نیاز به ایجاد تعادل بین رشد اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست بیش از پیش احساس می‌شود. با توجه به افزایش تقاضای غذایی و فشارهای مضاعف بر منابع طبیعی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تلاش برای افزایش تولیدات کشاورزی نیز افزایش یافته است. این در حالی است که کشورهای فقیرتر بیشترین آسیب را از تغییرات اقلیمی تجربه می‌کنند، اگرچه کشورهای توسعه‌یافته نیز در برابر این تغییرات مصون نیستند

(اخوان کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸). در این میان، بخش کشاورزی علاوه بر نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی، می‌تواند از طریق کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و به‌کارگیری روش‌های پایدارتر، به بهبود وضعیت محیط‌زیست و کاهش ناامنی‌های غذایی کمک کند. این تلاش‌ها می‌تواند به ایجاد سیستمی پایدارتر در کشاورزی منجر شود که با کاهش فشار بر منابع طبیعی، امنیت غذایی جهانی را نیز تقویت می‌کند (Porfirio, 2018).

ایران به‌عنوان کشوری واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان با چالش‌های فراوانی از جمله کمبود منابع آبی، نوسانات شدید دما و تغییرات الگوی بارش‌ها مواجه است. با وجود برخورداری از منابع عظیم انرژی، سرانه مصرف انرژی در کشور، به‌ویژه در بخش کشاورزی، حدود ۳ برابر میانگین جهانی است (World Bank, 2022). این میزان بالای مصرف انرژی، همراه با تلاش برای افزایش تولیدات کشاورزی، نیاز به توجه بیشتر به پیامدهای تغییرات اقلیمی و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای حرکت به‌سوی توسعه پایدار را دوچندان کرده است (عباسی، ۱۳۹۴). از سوی دیگر، غلات نقشی کلیدی در تأمین امنیت غذایی و سبد مصرفی ایرانیان دارند. در چنین شرایطی، بررسی اثرات عوامل محیط‌زیستی بر تولید غلات در ایران اهمیتی ویژه دارد. ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد، بیشتر در معرض تشدید اثرات تغییرات اقلیمی است و شناسایی این اثرات بر تولید غلات به‌منظور پیشگیری از کاهش تولید و تضمین امنیت غذایی ضروری به نظر می‌رسد. عواملی همچون بارندگی، دما، انتشار دی‌اکسید کربن، مصرف انرژی، سطح زیرکشت، استفاده از کود و تکنولوژی، همگی بر عملکرد محصولات کشاورزی تأثیرگذار هستند. درک دقیق این اثرات می‌تواند به سیاست‌گذاران و کشاورزان کمک کند تا راهبردهای کارآمدی را برای افزایش بهره‌وری، کاهش آثار منفی محیط‌زیستی و تضمین امنیت غذایی تدوین و اجرایی کنند.

های زراعی، مصرف کود و انتشار دی اکسید کربن بود. در پژوهش (Koonthar et al (2021)، به بررسی رشد سبز تولید غذای غلات تحت محدودیت‌های انتشار کربن کشاورزی: بینش جدیدی از مدل‌های ARDL و VECM پرداختند. نتایج نشان داد که رابطه بلندمدت و کوتاه‌مدت نشان می‌دهد که افزایش سطح کاشت و شاخص تولید غذا باعث افزایش تولید غلات می‌شود. در حالی که انتشار کربن کشاورزی تنها اثر منفی قابل توجه کوتاه‌مدت را تأیید می‌کند.

جمع‌بندی مطالعات انجام‌شده در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولید غلات نشان می‌دهد که این پدیده به‌طور کلی اثرات پیچیده و چندگانه‌ای بر عملکرد این محصولات دارد. به‌طور کلی، افزایش دما معمولاً با کاهش عملکرد غلات همراه است، در حالی که افزایش بارندگی می‌تواند اثرات مثبتی داشته باشد. با این وجود، این اثرات می‌تواند برای محصولات دیم و آبی متفاوت باشد. همچنین، سایر عوامل اقلیمی مانند انتشار دی‌اکسید کربن و شرایط تولیدی نظیر سطح زیرکشت، مصرف کود و انرژی نیز نقش مهمی در تعیین میزان تولید غلات ایفا می‌کنند. این تنوع در اثرات اقلیمی نشان‌دهنده پیچیدگی روابط بین اقلیم و تولید غلات است که نیازمند بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر است. با این وجود، خلأهای پژوهشی قابل‌توجهی در این زمینه مشاهده می‌شود. اکثر مطالعات داخلی به‌طور محدود تنها به بررسی یک یا دو جنبه از تأثیرات تغییرات اقلیمی پرداخته‌اند. همچنین، در سطح ملی و بین‌المللی، با وجود تنوع شرایط مکانی و اقلیمی، کمتر به ارزیابی جامع تأثیر ترکیب عوامل مختلف مانند کود، سطح زیرکشت، و تکنولوژی بر تولید غلات توجه شده است. پژوهش حاضر تلاش می‌کند با ارائه تحلیلی جامع از تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت تغییرات اقلیمی بر تولید غلات در سطح ملی، تصویری کامل‌تر از این اثرات بر کشاورزی ایران ارائه دهد. این رویکرد، برآوردی کلی از تأثیرات اقلیم بر تولید غلات در کشور فراهم می‌کند که می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های کلان و

پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد غلات دارد، اما این تأثیرات می‌توانند متفاوت و گاه متناقض باشند. مطالعات داخلی در ایران، مانند پژوهش‌های موززی و همکاران (۱۳۹۹)، جنت صادقی و همکاران (۱۳۹۷) و امیرنژاد و اسدپور کردی (۱۳۹۶) عموماً نشان داده‌اند که افزایش دما اثر منفی و افزایش بارش اثر مثبت بر عملکرد محصولات دارد، هرچند این اثرات برای محصولات دیم و آبی می‌تواند متفاوت باشد. همچنین پژوهش‌های بین‌المللی نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهند. پژوهش‌هایی که توسط Köprücü and Chandio et al. (2022)، Acaroğlu (2023) Chandio et al. (2020) و Koonthar et al. (2021) در کشورهایی مانند ترکیه، بنگلادش و چین انجام شده، تأیید می‌کنند که عوامل اقلیمی مانند دما، بارش و انتشار CO<sub>2</sub>، همچنین عوامل تولید مانند سطح زیر کشت، میزان استفاده از کودهای شیمیایی، میزان مصرف انرژی در ماشین‌آلات و تجهیزات تولید، تأثیرات متفاوتی بر عملکرد و تولید غلات دارند.

در پژوهش شایان‌مهر و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر امنیت غذایی در منطقه خراسان با استفاده از مدل داده‌های ترکیبی و رویکرد تابع تولید تصادفی جاست و پاپ پرداختند. نتایج نشان داد که که متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش اثر معنی‌داری بر عملکرد محصولات مورد بررسی دارد. همچنین در خارج کشور نیز می‌توان به مطالعه (Asfew & Bedemo (2022) اشاره کرد که به بررسی تأثیر تغییر آب و هوا بر تولید محصولات غلات در اتیوپی با استفاده از رویکرد مدل اتورگرسیو با وقفه توزیعی (ARDL) پرداختند. نتایج حاصل از مدل وجود یک رابطه بلندمدت را بین تولید محصولات غلات، متغیرهای تغییر اقلیم (دما و بارش) و سایر متغیرهای مستقل را توجیه می‌کند. بارش در بلندمدت و کوتاه‌مدت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید محصولات غلات دارد، در حالی که تغییر دما تأثیر منفی معنی‌داری دارد. در بلندمدت، تولید محصولات غلات به‌طور مثبت و قابل توجهی تحت تأثیر زمین

Food = f (land, fert, tech, CO<sub>2</sub>, ec, rain, temp) (۱)

این مدل، ترکیبی از عوامل اقلیمی و تکنولوژیکی را در بر می‌گیرد که بر اساس مبانی نظری و شواهد تجربی، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد غلات دارند. استفاده از این چارچوب نظری و تجربی، ضمن تقویت پایه‌های علمی تحقیق، امکان مقایسه نتایج با مطالعات مشابه در سایر کشورها را نیز فراهم می‌آورد. واحد متغیرهای معادله (۱) در جدول (۱) بیان شده است و تمام متغیرها به صورت لگارتیمی وارد مدل شده اند. به طور کلی، انتظار می‌رود که افزایش سطح زیرکشت، مصرف کود شیمیایی و تکنولوژی، تأثیر مثبت و معناداری بر تولید غلات داشته باشند. از سوی دیگر، افزایش دما و انتشار دی‌اکسیدکربن ممکن است تأثیر منفی بر عملکرد غلات داشته باشند، در حالی که بارندگی به عنوان یک عامل کلیدی می‌تواند تأثیرات متنوعی داشته باشد که بسته به شرایط جوی و زمان، مثبت یا منفی است. با استفاده از لگاریتم طبیعی، مدل خطی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$Lfood_t = \beta_0 + \beta_1(Lland)_t + \beta_2(Lfert)_t + \beta_3(Ltech)_t + \beta_4(Lco_2)_t + \beta_5(Lec)_t + \beta_6(Lrain)_t + \beta_7(Ltemp)_t + u_t \quad (2)$$

در معادله (۲)، جزء  $u_t$  تأثیر سایر متغیرهای تأثیرگذار بر تولید غلات را نشان می‌دهد. برای ارزیابی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرهای تعریف شده بر تولید غلات، می‌توان معادله (۱) را در قالب مدل ARDL به صورت معادله (۳) ارائه نمود:

$$\Delta(\ln food)_t = \beta_0 + \beta_1(Lfood)_{t-i} + \beta_2(Lland)_{t-i} + \beta_3(Lfert)_{t-i} + \beta_4(Ltech)_{t-i} + \beta_5(Lco_2)_{t-i} + \beta_6(Lec)_{t-i} + \beta_7(Lrain)_{t-i} + \beta_8(Ltemp)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_1 \Delta(Lfood)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_2 \Delta(Lland)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_3 \Delta(Lfert)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_4 \Delta(Ltech)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_5 \Delta(Lco_2)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_6 \Delta(Lec)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_7 \Delta(Lrain)_{t-i} + \sum_{i=1}^p \gamma_8 \Delta(Ltemp)_{t-i} + u_t \quad (3)$$

در معادله فوق، پرامترهای  $\beta$  ضریب پویایی کوتاه‌مدت و  $\gamma$  ضریب بلندمدت برای تولید غلات است. همچنین،  $\Delta$  بیانگر تفاضل مرتبه اول و  $U_t$  نشانگر جمله اختلال مدل است که نشان‌دهنده سایر عوامل مؤثر بر میزان تولید غلات در نمونه تحت بررسی است.

برنامه‌ریزی‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی در بخش کشاورزی باشد.

### روش تحقیق

این پژوهش از داده‌های سری زمانی برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۳ بهره می‌گیرد که از منابع معتبری همچون پایگاه اطلاعاتی بانک جهانی و مرکز آمار ایران استخراج شده‌اند. به منظور تحلیل روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین متغیرهای مستقل و عملکرد غلات، از رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) که توسط Pesaran et al. (1999) معرفی شده، استفاده شد. این روش برای نمونه‌های با حجم کوچک، کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های متداول اقتصادسنجی از خود نشان می‌دهد. مزیت قابل توجه رویکرد ARDL، امکان در نظر گرفتن وقفه‌های بهینه متفاوت برای هر متغیر در مراحل مختلف تخمین مدل است. علاوه بر این، برخلاف سایر روش‌های هم‌انباشتگی که مستلزم یکسان بودن درجه انباشتگی متغیرها هستند، روش ARDL قابلیت کاربرد برای متغیرهایی با درجات متفاوت انباشتگی را دارا می‌باشد. این ویژگی‌ها، انعطاف‌پذیری و کاربردپذیری بیشتری را در تحلیل روابط اقتصادی پیچیده فراهم می‌آورد (اسعدی و همکاران، ۱۴۰۱).

استفاده از رویکرد ARDL در این پژوهش، امکان بررسی دقیق‌تر اثرات متغیرهای مستقل بر عملکرد غلات را در افق‌های زمانی مختلف فراهم می‌سازد و به درک عمیق‌تری از پویایی‌های موجود در این حوزه منجر می‌شود. این تحقیق بر مبنای چارچوب نظری و مطالعه تجربی (Köprücü & Acaroğlu (2023) استوار است که به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد غلات پرداخته‌اند. با استناد به این پژوهش و تطبیق آن با شرایط ایران، متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد غلات شناسایی و در مدل تحقیق گنجانده شده‌اند. بر این اساس، مدل مفهومی پژوهش به صورت زیر تبیین می‌شود:

جدول ۱: متغیرها، واحد اندازه‌گیری و منابع داده

کد	متغیرها	واحد اندازه‌گیری	منبع	اثر مورد انتظار بر تولید غلات
lnFood	تولید غلات (دیم و آبی)	تن متریک	بانک جهانی	
lnland	سطح زیرکشت غلات (دیم و آبی)	هکتار	بانک جهانی	+
lnfert	مصرف کود شیمیایی	کیلوگرم در هکتار	بانک جهانی	+
lnitech	تکنولوژی	اسب بخار در هکتار	وزارت جهاد کشاورزی	+
lnCO <sub>2</sub>	انتشار دی‌اکسید کربن بخش کشاورزی	کیلو تن	سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)	-
lnec	مصرف انرژی بخش کشاورزی	میلیون تن بشکه معادل نفت خام	وزارت جهاد کشاورزی	+
lnrain	میانگین بارندگی	میلی متر	سازمان هواشناسی	+
lntemp	میانگین دما	درجه سلسیوس	سازمان هواشناسی	-

$$Lfood = \varphi_0 + \sum_{i=0}^p \varphi_1 (Lfood)_{t-i} + \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^p \varphi_2 (Lland)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=0}^p \varphi_3 (Lfert)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=0}^p \varphi_4 (Ltech)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=0}^p \varphi_5 (Lco2)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=0}^p \varphi_6 (Lec)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=0}^p \varphi_7 (Lrain)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=0}^p \varphi_8 (Ltemp)_{t-i} + \varepsilon_t \end{aligned}$$

مرحله آخر، بررسی رابطه کوتاه‌مدت بین متغیرها و محاسبه سرعت تعدیل عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت در هر دوره برای رسیدن به تعادل بلندمدت است. مدل تصحیح خطا (ECM) برای متغیرهای این معادله به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \Delta(Lfood)_t & = \lambda_0 + \quad (6) \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_1 \Delta(Lfood)_{t-i} \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_2 \Delta(Lland)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_3 \Delta(Lfert)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_4 \Delta(Ltech)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_5 \Delta(Lco2)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_6 \Delta(Lec)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_7 \Delta(Lrain)_{t-i} & + \\ & \sum_{i=1}^p \lambda_8 \Delta(Ltemp)_{t-i} + \theta ecm_{t-1} + u_t \end{aligned}$$

در رابطه (۶)،  $\lambda_1$  تا  $\lambda_7$  ضرایب پویای کوتاه‌مدت مدل به بلندمدت،  $ecm$  باقیمانده حاصل از برآورد رابطه بلندمدت و  $\theta$  سرعت تعدیل (ضریب تصحیح خطا) است که سرعت تعدیل به تعادل بلندمدت را نشان

قبل از تخمین هر مدلی، بررسی وضعیت ایستایی متغیرها ضروری است. در این پژوهش، برای این منظور از آزمون‌های ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF) و فیلیپس-پرون (PP) استفاده شده است. تعیین طول وقفه بهینه از طریق فرمول  $(P+1)^k$  محاسبه می‌شود، که در آن  $P$  حداکثر وقفه بهینه و  $k$  تعداد متغیرهاست. برای انتخاب وقفه بهینه، معیارهای مختلفی از جمله شوارتز-بیزین (SBC)، آکائیک (AIC) و حنان-کوئین (HQC) وجود دارد. با توجه به حجم کم داده‌ها در این تحقیق، معیار شوارتز-بیزین (SBC) به عنوان معیار مناسب‌تر برای تعیین وقفه بهینه انتخاب شده است. پس از مشخص شدن وضعیت ایستایی متغیرها، آزمون وجود یا عدم وجود رابطه بلندمدت با استفاده از آزمون باندا<sup>۱</sup> که توسط Pesaran et al. (2001) معرفی شده، انجام می‌گیرد. فرضیه صفر این آزمون، عدم وجود رابطه بلندمدت میان متغیرهاست که به شرح زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = 0 & \quad (4) \\ H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq \beta_5 \neq \beta_6 = \beta_7 \neq 0 \end{aligned}$$

وقتی که وجود رابطه تعادلی بلندمدت اثبات گردید (رد فرضیه صفر)، در مرحله بعدی، مدل ARDL بلندمدت به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

می‌دهد و باید بین صفر و منفی یک بوده و از نظر آماری معنی‌دار باشد.

حاکمی از مانا بودن تمام متغیرها در تفاضل مرتبه اول است. این بدان معنی است که متغیرهای مربوطه تحت تأثیر یک وقفه قبل از دوره مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر، با توجه به اینکه مرتبه ایستایی متغیرها متفاوت بوده، مدل ARDL بهترین مدل برای برآورد در این زمینه می‌باشد. همچنین، تعیین وقفه بهینه به طور خودکار توسط نرم‌افزار ایویوز تشخیص داده شد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون بررسی ریشه واحد در جدول (۲) ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که تمامی متغیرها به جز سطح زیرکشت و میانگین بارش، در سطح مانا نیستند. پس، آزمون تفاضل مرتبه اول مجدداً برای متغیرهای مدل انجام گردید که نتایج آن،

جدول ۲. نتایج دیکی-فولر تعمیم‌یافته (ADF) و فیلیپ و پرون (PP) بر اساس آزمون ریشه واحد

نتیجه	PP		ADF		متغیرها
	تفاضل مرتبه اول	سطح	تفاضل مرتبه اول	سطح	
I(1)	-۷/۳۹*	-۲/۴	-۵/۸۴*	-۲/۳۸	lnFood
I(0)	-۹/۸۸*	-۳/۶**	-۷/۵۵*	-۳/۵۹**	lnland
I(1)	-۷/۳۵*	-۲/۰۵	-۷/۳۹*	-۲/۰۵	lnfert
I(1)	-۶/۹۳*	۱/۵۸	-۶/۹۳*	۱/۶۸	lnTech
I(1)	-۴/۴۲*	-۰/۲۸	-۴/۴۸*	-۰/۲۷	lnCO <sub>2</sub>
I(1)	-۸/۳۲*	۱/۵۸	-۸/۱۶*	۱/۸۹	lnec
I(0)	-۹/۸۸*	-۴/۲۷*	-۷/۱*	-۴/۲۸*	lnrain
I(1)	-۷/۴۴*	-۲/۳۹	-۵/۹۳*	-۲/۵۹	Intemp

مأخذ: یافته‌های تحقیق (\* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده سطح معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد)

بزرگتر از مقدار کرانه بالا است، فرض عدم وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها با اطمینان ۹۹ درصد رد می‌شود؛ بنابراین، رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود دارد.

در این پژوهش، برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها، از آزمون تست باند استفاده شده که این آزمون توسط Pesaran et al (2001) ارائه شده است. نتایج حاصل از این آزمون در جدول (۳) ارائه شده است. از آنجایی که مقدار آماره F محاسباتی (۶/۳۴)

جدول ۳: نتایج آزمون کرانه‌ها برای وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها

آماره F	کران بالا I(۱)		کران پایین I(۰)		ارزش بحرانی
	نارایان	پسران	نارایان	پسران	
۶/۳۲	۴/۸۸	۴/۶۴	۳/۳۷	۳/۱۳	٪۱
	۳/۹۲	۳/۵۷	۲/۷۸	۲/۶۱	٪۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

سطح زیرکشت (land)، سطح تکنولوژی (tech) و میانگین بارش (rain) بر تولید غلات در سطح ۱ درصد معنی‌دار و مثبت شد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که سطح زیرکشت و میزان بارندگی دو عامل کلیدی در

نتایج حاصل از تخمین پارامترهای بلندمدت مدل ARDL در جدول (۴) ارائه شده است. این نتایج به شرط بررسی رابطه بلندمدت و هم‌انباشتگی بین متغیرها است. براساس این نتایج، اثرات متغیرهای

چرا اثر سطح زیرکشت از اثر بارندگی بزرگتر است، به دلیل تأثیر پایدارتر و قابل کنترل‌تر سطح زیرکشت است که نشان‌دهنده بازده صعودی نسبت به مقیاس در سیستم‌های کشاورزی ایران می‌باشد.

تکنولوژی نیز با ضریب مثبت و معنادار، سومین عامل مهم است که اهمیت به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته مانند ادوات مدرن کشاورزی، بذرها، اصلاح شده و سیستم‌های نوین آبیاری را نشان می‌دهد. این یافته‌ها بر ضرورت یک رویکرد چندجانبه برای افزایش تولید غلات تأکید می‌کنند، که شامل گسترش سطح زیرکشت، بهبود مدیریت منابع آب و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین کشاورزی است. همچنین نتایج حاصل از جدول مربوطه نشان می‌دهد که انتشار گاز دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) اثر منفی بر تولید غلات در کوتاه‌مدت و بلندمدت داشته است. عمده‌ترین دلایل کاهش تولید غلات در اثر افزایش انتشار کربن دی‌اکسید را می‌توان به تغییرات فتوسنتزی گیاهان، افزایش تنش گرمایی، کاهش جذب عناصر غذایی، افزایش بیماری‌ها و آفات ناشی از افزایش حساسیت گیاهان نسبت داد (Garrett et al., 2016). این نتیجه هم‌راستا با نتایج Chandio et al (2020), Oureshi et al (2016), Eshete et al (2020), Sossou et al (2020), Adesete et al (2023), Rusmayandi et al (2023) می‌باشد. شایان ذکر است، افزایش دی‌اکسید کربن به‌تنهایی می‌تواند اثر مثبتی بر فتوسنتز گیاهان داشته باشد، اما اثر منفی این گاز بر تولید غلات در این پژوهش ناشی از عوامل دیگری است که به‌طور غیرمستقیم از غلظت بالای دی‌اکسید کربن ناشی می‌شوند. این عوامل شامل تغییرات اقلیمی شدیدتر و بروز پدیده‌های اکستریم است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در جو منجر به گرم‌تر شدن زمین می‌شود، که به نوبه خود وقایع اکستریمی مانند خشکسالی‌های طولانی‌مدت، کاهش بارش، و افزایش دما را تشدید می‌کند.

دیگر نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد، متغیر مصرف کود (fert) در سطح ۵ درصد از نظر آماری معنی‌دار است. اثر مثبت مصرف کود بر تولید غلات عمدتاً به

تولید غلات هستند. ضریب برآوردی برای متغیر زمین (سطح زیرکشت) با مقدار ۱/۰۴، بزرگترین ضریب در میان تمامی متغیرهاست. این یافته بیانگر اهمیت حیاتی گسترش سطح زیرکشت در افزایش تولید غلات است. به عبارت دیگر، افزایش یک درصدی در سطح زیرکشت، منجر به افزایش بیش از یک درصدی در تولید غلات می‌شود، که نشان‌دهنده بازده صعودی نسبت به مقیاس است. پس از سطح زیرکشت، بارندگی با ضریب ۰/۴۱ دومین عامل مؤثر بر تولید غلات است. که همسو با نتیجه Pickson & Boateng (2022) می‌باشد. این یافته‌ها اهمیت مدیریت منابع آب و زمین را در بهبود تولید غلات برجسته می‌کند و می‌تواند راهنمای مفیدی برای سیاست‌گذاری‌های کشاورزی باشد. به بیان دیگر، حصول این نتیجه مبنی بر نقش گسترده و مهم آب در رشد و نمو گیاهان است که با تأمین آب مورد نیاز گیاه، انجام فرآیندهای فتوسنتزی، انتقال املاح و مواد غذایی و همچنین نقش آن در تنظیم دما بیشترین اثرگذاری را در مراحل رشد گیاهان دارد. که این نتایج همسو با نتایج (Mwaura and Okoboi (2014), Shoko et al (2019), Asfew and Bedemo (2022), Koondhar (2021) می‌باشد.

لازم به ذکر است، دلایل متعددی برای اینکه چرا ضریب سطح زیرکشت بیشتر از بارندگی برآورد شده است، می‌تواند وجود داشته باشد. اولاً، افزایش سطح زیرکشت به‌طور مستقیم به افزایش تولید می‌انجامد و تأثیر آن حتی در شرایط مختلف اقلیمی هم پایدار است. در واقع، گسترش زمین‌های زیرکشت می‌تواند منجر به استفاده بیشتر از تکنولوژی‌های نوین و مدیریت بهتر منابع آب شود که در نهایت تولید را افزایش می‌دهد. ثانیاً، گرچه آب از عوامل کلیدی تولید است و تأثیرات آن در مناطق خشک ایران به‌طور مستقیم دیده می‌شود، اما باید توجه داشت که بارندگی به‌تنهایی ممکن است تحت تأثیر عوامل غیرقابل کنترل محیطی قرار گیرد، در حالی که مدیریت صحیح سطح زیرکشت قابلیت بیشتری برای بهبود تولید دارد. بنابراین، نتیجه‌گیری در مورد اینکه

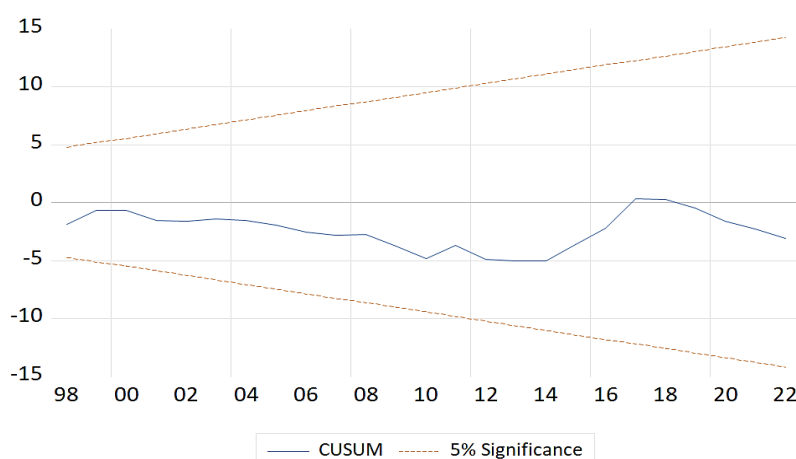
برخی متغیرها ممکن است در کوتاه مدت با تأخیر اثرگذار باشند، در حالی که در بلندمدت، متغیرها اثر آنی و همزمان دارند. در بررسی نتایج این مدل، نتایج کوتاه مدت تقریباً هم جهت با نتایج بلندمدت است، با این تفاوت که در کوتاه مدت، اثر متغیرهای تکنولوژی و دما از نظر آماری بر تولید غلات معنی‌دار نبودند، در صورتی که این دو متغیر در بلندمدت اثر معنی‌داری داشتند. این امر می‌تواند ناشی از زمان لازم برای اثرگذاری این متغیرها بر تولید غلات باشد که در کوتاه مدت این اثر معنی‌دار نیست اما در بلندمدت معنی‌دار می‌شود.

ضریب تصحیح خطا (ECM) برابر با  $0/28$  بدست آمده است که نشان می‌دهد، در هر دوره،  $28$  درصد از عدم تعادل تولید غلات در کوتاه مدت به سمت رابطه بلندمدت تعدیل می‌شود. این ضریب نشان می‌دهد که چه میزان از انحراف از تعادل بلندمدت در هر دوره تعدیل می‌شود. بنابراین، اثر یک شوک بر تولید غلات  $3$  دوره زمان طول می‌کشد تا رابطه کوتاه مدت کاملاً در راستای رابطه بلندمدت قرار گیرد. تمامی پارامترهای برآوردی مدل تصحیح خطا در تفاضل مرتبه اول هستند، زیرا مدل تصحیح خطا بر پایه روابط تفاضلی استوار است. از آنجایی که در کوتاه مدت اثر متغیرها به صورت تأخیری ظاهر می‌شود، تمامی ضرایب برآوردی در کوتاه مدت کوچکتر از ضرایب بلندمدت هستند که این امر نیز ناشی از تفاوت در زمان اثرگذاری متغیرها در کوتاه مدت و بلندمدت است.

تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش عملکرد محصول و بهبود مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا برمی‌گردد. در ایران، به دلیل کمبود حاصلخیزی خاک، استفاده از کودهای شیمیایی نقش مهمی در تأمین عناصر ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم ایفا می‌کند، که برای رشد و توسعه بهینه گیاهان حیاتی هستند. این مساله به عنوان یکی از علل اصلی اثر مثبت و معنی‌دار مصرف کود در تولید غلات در ایران شناخته می‌شود (Massah and Azadegan, 2016).

متغیر مصرف کود (fert) در سطح  $5$  درصد از نظر آماری معنی‌دار بود. اثر مثبت کود بر تولید غلات ناشی از تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش عملکرد و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا است. این نتیجه همسو با نتیجه (Pickson & Boateng 2022) می‌باشد. اثر دما نیز بر تولید غلات منفی بوده که نتیجه‌ای مشابه مطالعات (Warsame et al. 2021), Khan et al (2019), Chandio et al. (2022) و Adesete et al (2023) از جمله دلایل آن می‌توان به کاهش عملکرد محصولات که ناشی از خشکسالی است، افزایش آفات و بیماری‌ها در اثر بالا رفتن دما، تغییر الگوی بارندگی و افزایش تبخیر آب از خاک و گیاهان نسبت داد.

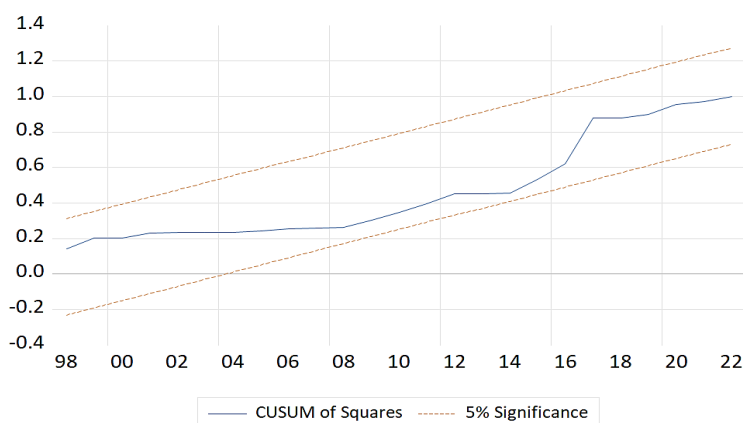
در این پژوهش بررسی مدل تصحیح خطا به منظور تعدیل عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت به سمت تعادل بلندمدت در جدول (۴) انجام شده است. این عدم تعادل ناشی از اثر تأخیری متغیرهاست، زیرا



شکل ۱: مجموع تجمعی جملات پسماند بازگشتی (CUSUM) تابع تولید غلات  
جدول ۴. نتایج تخمینی مدل ARDL (ضرایب بلندمدت و کوتاه مدت)

متغیرها	ضرایب	آماره t
برآورد ضرایب بلندمدت:		
C	۲/۰۵	۱/۹۱***
Inland	۱/۰۴	۵/۶۴*
Infert	۰/۲۸	۲/۰۴**
Intech	۰/۲۲	۲/۹۷*
lnCO <sub>2</sub>	-۰/۱۶	-۱/۹۸**
lnec	۰/۳۶	۱/۲۸
lnrain	۰/۴۱	۳/۲۶*
Intemp	-۰/۱۲	-۱/۸۷***
برآورد ضرایب کوتاه‌مدت:		
C	۱/۲۲	۱/۵
ΔInland	۰/۸۱	۳/۹۲*
ΔInfert	۰/۱۹	۳/۶۹*
ΔIntech	۰/۱۴	۱/۳۲
ΔlnCO <sub>2</sub>	-۰/۱۳	-۲/۶۴**
Δlnec	۰/۲۸	۲/۴۴*
Δlnrain	۰/۳۲	۲/۳۷**
ΔIntemp	-۰/۰۷	-۱/۴۱
ECM (-1)	-۰/۲۸۴	-۴/۶۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق (\*، \*\*، \*\*\* به ترتیب معنی دار در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد)



شکل ۲: مجموع تجمعی مربعات جملات پسماند بازگشتی (CUSUMQ) تابع تولید غلات

اگر نمودارهای CUSUM و CUSUMSQ یکی از باندهای طرفین را در سطح ۵ درصد قطع کنند، مدل از ثبات لازم برخوردار نخواهد بود. به بیان دیگر، این آزمون‌ها برای بررسی ثبات ضرایب رگرسیونی در طول زمان استفاده می‌شوند. اگر نمودارها از باندهای اطمینان خارج شوند، نشان می‌دهد که ضرایب در

در این بخش برای بررسی ثبات مدل از آماره‌ها و نمودارهای مجموع پسماندهای بازگشتی (عطفی) استاندارد شده (CUSUM) و مجموع تجمعی مربعات پسماندهای بازگشتی استاندارد شده (CUSUMSQ) استفاده شده است. طبق توضیحات ارائه شده که بر پایه پژوهش بهمنی اسکویی و همکاران (۱۳۹۷) است،

معنی‌داری بر تولید غلات داشته است؛ که نشان می‌دهد هر چند سرعت مکانیزاسیون و تغییر تکنولوژی در مجموع کند بوده اما در بلند مدت بر افزایش بهره‌وری و تولید غلات مؤثر بوده است. بر خلاف تغییر تکنولوژی، تأثیر مثبت متغیر مصرف انرژی در کوتاه مدت معنی دار و در بلند مدت فاقد معنی آماری بوده است، که نشان از مصرف بی‌رویه انرژی در تولید غلات در ایران دارد. مهمتر از این موارد، نتایج نشان داد افزایش دما و انتشار  $CO_2$  به عنوان شاخص‌های تغییر اقلیم، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت تأثیر منفی و معنی دار بر تولید غلات در ایران در طول دوره مورد بررسی داشته‌اند؛ که این نتایج می‌تواند به عنوان یک هشدار جدی در ظهور آثار مخرب تغییر اقلیم بر امنیت غذایی کشور در نظر گرفته شود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌های مدیریت تغییرات اقلیمی در ایران تقویت و نهادینه شوند و کشور با مشارکت فعال‌تری در معاهدات بین‌المللی مرتبط با این موضوع همکاری کند. با توجه به تأثیرات منفی و معنی‌دار دی‌اکسیدکربن و دما بر تولید غلات، لازم است اقدامات مؤثری برای کاهش این اثرات منفی اجرایی شود. از جمله این اقدامات می‌توان به تدوین استانداردهای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و گسترش همکاری‌های بین‌المللی اشاره کرد. همچنین، با توجه به نقش حیاتی زمین در تأمین امنیت غذایی و با توجه به اینکه زمین‌های کشاورزی قطعه‌قطعه‌شده، بهره‌وری لازم را ندارند، توصیه می‌شود سیاست‌گذاران طرحی جامع برای یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی تدوین کرده و از تفکیک زمین‌های کشاورزی بر اساس استانداردهای مربوطه جلوگیری کنند. از طرفی، به دلیل اهمیت آب در تولید غلات، سیاست‌گذاران باید برای کاهش خطرات مزارع دیم، به ویژه با توجه به تنوع الگوهای بارندگی در کشور، برنامه‌ریزی‌های مناسب را انجام دهند. ایجاد زیرساخت‌های آبیاری و تجهیز زمین‌های کشاورزی به سیستم‌های نوین آبیاری از جمله اقدامات

طول زمان ثابت نبوده‌اند و مدل از ثبات ساختاری برخوردار نیست. با توجه به نمودارهای شکل‌های (۱) و (۲)، از آنجایی که هر دو نمودار در محدوده اطمینان قرار دارند و باندهای طرفین را قطع نکرده‌اند، نتیجه گرفته می‌شود که پارامترهای برآورد شده برای تابع تولید غلات در سطح ۵ درصد از ثبات ساختاری لازم برخوردار بوده و شکستی مشاهده نمی‌گردد. بنابراین، مدل به درستی تبیین شده است.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

عوامل محیط زیستی مانند تغییرات اقلیمی، دما و میزان کربن دی‌اکسید تأثیر قابل توجهی بر عملکرد غلات دارند. این عوامل می‌توانند رشد، فتوسنتز، دوره رسیدگی و در نهایت میزان تولید محصولات کشاورزی را به طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهند. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر عوامل محیط‌زیستی بر عملکرد غلات در ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ انجام شده است. برای تحلیل داده‌ها، از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده شده که امکان بررسی روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین متغیرها را فراهم می‌کند. قبل از تخمین مدل، آزمون ریشه واحد با استفاده از روش‌های فیلیپس پرون و دیکی فولر تعمیم یافته انجام شده تا از مانایی متغیرها اطمینان حاصل شود. همچنین، پایداری ضرایب مدل با استفاده از آزمون‌های CUSUM و CUSUMQ مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است. نتایج آزمون باندها نشان داد که رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای مورد مطالعه وجود دارد.

نتایج حاصل از تخمین مدل نشان داد متغیرهای سطح زیرکشت، میزان بارش و مصرف کود شیمیایی در بلندمدت و کوتاه‌مدت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید غلات در ایران در طول دوره مورد مطالعه داشته‌اند. نتایج همچنین حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار متغیر بهبود تکنولوژی بر تولید غلات در کوتاه‌مدت بود، اما در بلندمدت تغییر تکنولوژی و استفاده از روش‌های مکانیزه و نوین تولید تأثیر مثبت و

نوع تولید فراهم نبود. لذا در تحقیقاتی آتی، پیشنهاد می‌شود که علاوه بر این تفکیک، نقش فناوری‌های مختلف در تولید غلات نیز بررسی شده تا نتایج قابل اعتمادتر و دقیق‌تری ارائه شود.

ضروری در این زمینه است. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های تفکیکی مربوط به انتشار دی‌اکسید کربن در بخش کشاورزی برای تولیدات آبی و دیم، امکان بررسی دقیق اثر تغییرات اقلیمی به تفکیک این دو

### منابع

۱۱. قانون برنامه هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران. ۱۴۰۲.
12. Adesete, A.A., Olanubi, O.E., & Dauda, R.O. (2023). Climate change and food security in selected Sub-Saharan African Countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25(12), 14623-14641.
13. Asfew, M., & Bedemo, A. (2022). Impact of climate change on cereal crops production in Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2022(1), 2208694.
14. Chandio, A. A., Jiang, Y., Fatima, T., Ahmad, F., Ahmad, M., & Li, J. (2022). 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.
15. Chandio, A. A., Ozturk, I., Akram, W., Ahmad, F., & Mirani, A. A. (2020). Empirical analysis of climate change factors affecting cereal yield: evidence from Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 11944-11957.
16. Eshete, Z. S., Mulatu, D. W., & Gatiso, T. G. (2020). CO<sub>2</sub> emissions, agricultural productivity and welfare in Ethiopia. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(5), 687-704.
17. Garrett, K. A., Nita, M., De Wolf, E. D., Esker, P. D., Gomez-Montano, L., & Sparks, A. H. (2021). Plant pathogens as indicators of climate change. In *Climate change* (pp. 499-513). Elsevier.
18. Janjua, P. Z., Samad, G., & Khan, N. (2014). Climate change and wheat production in Pakistan: an autoregressive distributed lag approach. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 68, 13-19.
۱. اخوان کاظمی، م.، سادات حسینی، ت.، و بهرامی‌پور، ف. (۱۳۹۸). تحلیل تاثیر تغییرات اقلیمی بر امنیت بین‌المللی. نامه پژوهشی روابط بین‌الملل، ۱۲(۴۶)، ۹-۳۹.
۲. اسعدی، م. ا.، سلیمی، س.، و قادرزاده، ح. (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییرات ساختاری و رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران: کاربرد مدل ARDL. انسان و محیط‌زیست، ۲۰(۴)، ۱۴۷-۱۶۳.
۳. امیرنژاد، ح.، و اسدپور کردی، م. (۱۳۹۶). اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران. تحقیقات اقتصاد کشاورزی ایران، ۹(۳۵)، ۱۶۳-۱۸۲.
۴. آهنی، م. و افشار کاظمی، م. (۱۴۰۰). تبیین جایگاه ایران در جهان بر اساس توسعه پایدار: رویکردی زیست‌محیطی. پایداری، توسعه و محیط‌زیست، ۲(۲)، ۳۵-۵۲.
۵. بهمنی‌اسکویی، م.، حالپچی‌اوغلو، ف.، و محمدیان، ا. (۱۳۹۷). بررسی اثرات نامتقارن تغییرات نرخ ارز بر تولید داخلی در ترکیه. تغییر و بازسازی اقتصادی، ۵۱، ۹۷-۱۱۲.
۶. جنت صادقی، م.، شاهنوشی‌فروشان، ن.، دانشور کهکی، م.، دوراندیش، ا.، و محمدی، ح. (۱۳۹۷). ارزیابی عوامل موثر بر عملکرد محصولات کشاورزی استراتژیک (گندم و جو) در استان خراسان رضوی. اقتصاد کشاورزی، ۱۲(۲)، ۱۱۱-۱۳۴.
۷. شایان مهر، س.، شاهنوشی، ن.، صبوچی، م.، و رستگاری، ش. (۱۴۰۰). تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر امنیت غذایی در منطقه خراسان. اقتصاد کشاورزی، ۱۵(۴)، ۹۵-۱۲۸.
۸. عباسی، ا. (۱۳۹۴). پیش‌بینی مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران. اقتصاد مالی، ۹(۳۲)، ۸۱-۱۰۲.
۹. علیپور، ا.، موسوی، ش.، و خلیلیان، س. (۱۳۹۳). ارزیابی انتشار دی‌اکسید کربن حاصل از توسعه کشاورزی در ایران. اقتصاد کشاورزی، ۸(۱)، ۶۳-۸۱.
۱۰. معززی، ف.، یاری، غ. ر.، موسوی، ش. ح.، و باقری، م. (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی در دشت همدان بهار با تأکید بر بهره‌وری آب و امنیت غذایی. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۴(۳)، ۳۰۵-۳۲۳.

26. Pickson, R. B., & Boateng, E. (2022). Climate change: a friend or foe to food security in Africa?. *Environment, Development and Sustainability*, 1-26.
27. Porfirio, L. L., Newth, D., Finnigan, J. J., & Cai, Y. (2018). Economic shifts in agricultural production and trade due to climate change. *Palgrave Communications*, 4(1).
28. Rusmayandi, G., Hertini, E. S., Harahap, M. A. K., & Nugroho, R. J. (2023). Climate change, agricultural production, food security, and livelihoods of rural communities in rural districts: A qualitative approach. *West Science Interdisciplinary Studies*, 1(03), 102-110.
29. Shoko, R. R., Belete, A., & Chaminuka, P. (2019). Maize yield sensitivity to climate variability in South Africa: application of the Ardl-Ecm approach. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 54(4), 363-371.
30. Sossou, S., Igue, C. B., & Diallo, M. (2019). Impact of climate change on cereal yield and production in the Sahel: case of Burkina Faso. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 37(4), 1-11.
31. UN. (2023). United Nations. [Http://www.un.org/en](http://www.un.org/en).
32. 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.
33. World Bank. (2022). World Development Indicators DataBank. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.
34. C:\Users\soleimani\Downloads\World Development Indicators | DataBank. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
19. Khan, A., Ali, S., Shah, S. A., Khan, A., & Ullah, R. (2019). Impact of climate change on maize productivity in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35(2), 594-601.
20. Koondhar, M. A., Udemba, E. N., Cheng, Y., Khan, Z. A., Koondhar, M. A., Batool, M., & Kong, R. (2021). Asymmetric causality among carbon emission from agriculture, energy consumption, fertilizer, and cereal food production—a nonlinear analysis for Pakistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101099.
21. Köprücü, Y., & Acaroğlu, H. (2023). How cereal yield is influenced by eco-environmental factors? ARDL and spectral causality analysis for Turkey. *Cleaner Environmental Systems*, 10, 100128.
22. Massah, J., & Azadegan, B. (2016). Effect of chemical fertilizers on soil compaction and degradation. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 47(1), 44-50.
23. Mwaura, F. M., & Okoboi, G. (2014). Climate variability and crop production in Uganda. *Journal of Sustainable Development*, 7(2), 159-172.
24. Pesaran, H. M., Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. In: Strøm, S. (Ed.), *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: the Ragnar Frisch Centennial Symposium*. Econometric Society Monographs. Cambridge University Press, Cambridge, 371-413.
25. Pesaran, H. M., Shin, Y., Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches To The Analysis Of Level Relationships, *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.

