نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۹، بهمن - اسفند ۱۴۰۴، ص. ۱۰۰۳-۹۹۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 19, Feb.-Mar. 2026, p. 994-1003

مقاله علمی-پژوهشی

# بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولید محصولات کشاورزی ایران (مطالعه موردی: گندم)

زهره علی‌محمدی[۱]، محمدعلی اسعدی[۲]، صادق خلیلیان[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵

## چکیده

تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های اساسی و فزاینده در قرن بیست‌ویکم است که پیامدهای گسترده‌ای بر فعالیت‌های اقتصادی و محیطزیستی، به‌ویژه در بخش کشاورزی، به همراه دارد. افزایش میانگین دما، نوسانات در الگوهای بارندگی و تکرار خشکسالی‌ها، به‌طور مستقیم بر عملکرد محصولات زراعی اثر گذاشته و امنیت غذایی کشورها را تحت تأثیر قرار داده است. گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک در سبد غذایی خانوار ایرانی، بیش از دیگر محصولات در معرض آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیم قرار دارد. هدف این مطالعه، تحلیل اثرات اقلیمی بر تولید گندم در ایران با بهره‌گیری از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) و داده‌های سری‌زمانی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ است. نتایج حاصل از تخمین مدل نشان داد که متغیرهای سطح زیرکشت و میزان بارندگی در کوتاه‌مدت و بلندمدت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید گندم در ایران طی دوره موردمطالعه داشته‌اند. این یافته تأکید می‌کند که افزایش سطح زیرکشت و بارندگی نقش مهمی در بهبود تولید گندم ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، میانگین دما در هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت اثر منفی و معنی‌داری بر تولید این محصول داشته است که نشان‌دهنده تأثیر نامطلوب افزایش دما بر رشد و تولید گندم است. بررسی شاخص خشکسالی SPI نیز نشان داد که در کوتاه‌مدت تأثیر معنی‌داری بر تولید گندم ندارد، اما در بلندمدت اثر آن منفی و معنی‌دار بوده است. علاوه بر این، تغییرات در الگوهای فصلی در کوتاه‌مدت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید داشته، اما در بلندمدت این اثر معنی‌دار نبوده است. این نتایج نشان‌دهنده تأثیرات پیچیده و چندبعدی تغییرات اقلیمی بر تولید گندم است. بر اساس یافته‌های پژوهش، استفاده از ارقام مقاوم به گرما و خشکسالی و نیز به‌کارگیری تقویم زراعی سازگار با تغییرات فصلی، به‌عنوان یک پیشنهاد اساسی، می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری تولید گندم در برابر نوسانات اقلیمی کمک کند.

**واژه‌های کلیدی:** امنیت غذایی، تغییرات اقلیمی، خشکسالی، گندم، مدل ARDL

## مقدمه

بخش کشاورزی یکی از ارکان اصلی اقتصاد در بسیاری از کشورها، ازجمله ایران، به شمار می‌رود (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۸). این بخش نه‌تنها تأمین‌کننده نیازهای غذایی جامعه است، بلکه نقش قابل‌توجهی در اشتغال‌زایی، صادرات، و پایداری اقتصادی کشور دارد (افروخته و همکاران، ۱۳۹۲). کشاورزی به‌عنوان یک فعالیت وابسته به منابع طبیعی، به‌شدت تحت تأثیر شرایط محیطی و اقلیمی قرار دارد. در ایران، با توجه به شرایط نیمه‌خشک و خشک حاکم بر بخش وسیعی از کشور، بهره‌وری کشاورزی به میزان قابل‌توجهی وابسته به دسترسی به منابع آب و پایداری شرایط جوی است (Asaadi et al., 2021). ازاین‌رو، هرگونه تغییر در الگوهای اقلیمی می‌تواند اثرات گسترده‌ای بر عملکرد محصولات کشاورزی، پایداری معیشت کشاورزان و امنیت غذایی داشته باشد.

تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های اساسی قرن بیست و یکم محسوب می‌شود که بسیاری از جنبه‌های زندگی بشر، ازجمله کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. تغییرات دما، نوسانات بارندگی و افزایش وقوع حوادث اقلیمی ازجمله پیامدهای تغییرات اقلیمی هستند که مستقیماً بر عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارند (Esfandeh et al., 2024). افزایش دمای جهانی موجب افزایش میزان تبخیر و تعرق شده که درنتیجه نیاز آبی محصولات را افزایش داده و فشار بیشتری بر منابع آبی محدود کشور وارد می‌کند. از سوی دیگر، تغییر در الگوهای بارش می‌تواند منجر به کاهش دسترسی به آب برای آبیاری، کاهش رطوبت خاک و افزایش خطر خشکسالی شود (حاجی‌رحیمی و همکاران، ۱۴۰۳). این تغییرات نه‌تنها عملکرد کشاورزی را کاهش می‌دهند، بلکه می‌توانند موجب تغییر در الگوی

۱ - دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲ - دکتری اقتصاد کشاورزی، مدرس دانشگاه کردستان ، سنندج، ایران
۳ - استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: khalil_s@modares.ac.ir)

کشت و کاهش بهره‌وری زمین‌های زراعی شوند.

در ایـران، کـه بخـش گسـترده‌ای از آن دارای اقلـیم خشـک و نیمه‌خشک بوده و بخش عمده‌ای از اراضی کشاورزی آن وابسـته بـه بارش‌های جوی است، تغییرات اقلیمـی مـی‌توانـد تـأثیرات عمیـق و گسترده‌ای بر تولیـدات کشـاورزی داشـته باشـد. یکـی از مهـم‌تـرین چالش‌ها در این زمینـه، تغییـر در الگـوی بـارش و افـزایش فراوانـی خشکسالی‌هاست که مستقیماً بر تولید محصولات دیم تأثیر می‌گذارد. کشاورزی دیم، که وابسته به میزان و توزیع بارندگی سالانه اسـت، در بسیاری از مناطق ایران همچنان سـهم بـالایی در تولیـد محصـولات زراعی دارد (کیانی و همکـاران، ۱۳۹۸). کـاهش بارنـدگی در فصـول رشد، کاهش دسترسی به رطوبـت خـاک و افـزایش تبخیـر سـطحی، باعث کاهش عملکرد این مزارع شده و خطر نوسانات تولید را افزایش می‌دهد. افزون بر این، تغییر در زمان وقوع بارش‌ها، کـه مـی‌توانـد از طریق تأخیر در آغاز فصل بارندگی یا تمرکـز بـارش‌هـا در دوره‌هـای کوتاه‌تر رخ دهد، ممکن است منجر به کـاهش بهـره‌وری آب و بـروز سیلاب‌های مخرب شود. از سـوی دیگـر، تغییـرات دمـایی، بـه‌ویـژه افزایش دمای شبانه، می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر مراحل فنولـوژیکی گیاهان داشته باشد، به‌طوری‌که برخی محصـولات بـه دلیـل کـاهش طول دوره رشد و بلوغ زودهنگـام، دچـار کـاهش عملکـرد و کیفیـت می‌شوند (Rahman et al., 2023؛ Ojara et al., 2024). همچنین، افزایش دما و کاهش رطوبت خاک شرایط مساعدی برای رشد آفات و بیماری‌های گیاهی فراهم می‌کند که مـی‌توانـد هزینـه‌هـای تولیـد را افـزایش داده و بهـره‌وری مـزارع را کـاهش دهـد (Ashaolu and Iroye, 2018). در چنین شرایطی، عدم اتخـاذ راهکارهـای مـدیریت بهینه منابع آبی، افزایش وابستگی بـه آب‌هـای زیرزمینـی و اسـتفاده بیش‌ازحد از نهاده‌های کشاورزی می‌تواند منجر بـه کـاهش پایـداری تولید در بلندمدت شود. این چالش‌ها اهمیت برنامه‌ریزی برای تطبیـق با تغییرات اقلیمی و استفاده از روش‌هـای کشـاورزی مقـاوم در برابـر تنش‌های محیطی را دوچندان می‌کند.

گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک و اساسی در تـأمین امنیت غذایی کشور، بیش از سایر محصـولات تحـت تـأثیر تغییـرات اقلیمی قرار دارد. این محصول کـه غـذای اصـلی بخـش عمـده‌ای از جمعیت ایران را تشکیل می‌دهد، نیازمند شرایط اقلیمـی پایـدار بـرای دسـتیابی بـه عملکـرد مطلـوب اسـت (بهرامـی و همکـاران، ۱۳۹۷). تغییرات دما، میزان و توزیع بارندگی و افزایش حوادث اقلیمـی شـدید می‌تواند مستقیماً بر مراحـل رشـد و نمـو گنـدم، ازجملـه جوانـه‌زنـی، گل‌دهی و رسیدگی دانه، تأثیر بگذارد. افزایش دمـای هـوا در مراحـل حساس رشد می‌تواند منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول شود (Potgieter et al., 2013). همچنین، وقوع خشکسالی‌های پی‌درپـی در سال‌های اخیر، نگرانی‌های زیادی در مورد کـاهش تولیـد گنـدم و وابستگی بیشتر کشور به واردات ایجاد کرده است.

بـا توجـه بـه اهمیـت گنـدم در امنیـت غـذایی و نقـش آن در سیاست‌های اقتصـادی و کشـاورزی کشـور، بررسـی اثـرات تغییـرات اقلیمی بر تولید این محصول از جنبـه‌هـای مختلـف ضـروری اسـت. پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر تولید گندم و غلات پرداخته‌اند و نتایج آن‌ها حاکی از نقش چشمگیر این متغیرهـا در میـزان تولیـد –گنـدم و غـلات اسـت. پـژوهش حـاجی‌رحیمـی و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد کـه متغیرهـای سـطح زیرکشـت، میـزان بارش و مصرف کود شیمیایی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید غـلات در کوتاه‌مدت و بلندمدت دارند، درحالی‌که افزایش دما و انتشـار $CO_2$ اثر منفی قابل‌توجهی بر تولید این محصولات داشته است. همچنـین، این پژوهش تأکید داشت که بهبود فناوری تولیـد در کوتـاه‌مـدت اثـر معناداری بر تولید غلات ندارد، اما در بلندمدت، بـه‌واسـطه اسـتفاده از روش‌های مکانیزه و نـوین کشـاورزی، اثـر مثبتـی بـر عملکـرد ایـن محصولات خواهد داشت. نتایج پـژوهش‌هـای دیگـر نیـز یافتـه‌هـای مشابهی را تأیید می‌کنند. پژوهش‌هـای معـززی و همکـاران (۱۳۹۹)، جنت صادقی و همکاران (۱۳۹۷) و امیرنژاد و اسـدپور کـردی (۱۳۹۶) نیز نشان داده‌اند که افزایش دما کاهش عملکرد محصول گندم را بـه دنبال دارد، درحالی‌که بارندگی بیشتر، به‌ویـژه بـرای مـزارع دیـم، اثـر مثبت و قابل‌توجهی بـر تولیـد گنـدم داشـته اسـت. عـلاوه بـر ایـن، بررسی‌های شایان‌مهـر و همکـاران (۱۴۰۰) در منطقـه خراسـان نیـز نشان داد که تغییرات دمایی و میزان بارندگی نقش تعیین‌کننـده‌ای در عملکرد غلات دارند.

پژوهش‌های خارجی نیز نتایج مشابهی را در سایر کشـورها تأییـد کـرده‌انـد. پـژوهش‌هـای کوپروجـو و آکـاراوغلو (Köprücü and Acaroğlu, 2023)، چانـدیو (Chandio et al ., 2022)، کونـدار (Koondhar et al., 2021) و چاندیو (Chandio et al ., 2020)، در کشورهایی نظیر ترکیه، بنگلادش و چین نشان داده‌اند که دما، بـارش و انتشار2CO، در کنار عوامل تولیدی نظیر سطح زیرکشـت، مصـرف کودهای شـیمیایی و میـزان انـرژی مصـرفی در کشـاورزی، تـأثیرات متفاوتی بر تولید غلات دارند. پژوهش آسفیو و بدمو در اتیـوپی نشـان داد که افـزایش بارنـدگی در کوتـاه‌مـدت و بلندمـدت تـأثیر مثبـت و معنی‌داری بر تولید غلات دارد، اما افزایش دما اثر منفی قابـل‌تـوجهی بر عملکرد این محصولات می‌گذارد (Asfew & Bedemo, 2022). همچنین کندهار و همکاران در پژوهشـی پیرامـون رشـد سـبز تولیـد غلات تحت محدودیت‌های انتشار کربن، دریافتند که افـزایش سـطح زیرکشت و بهبود شاخص تولیـد غـذا موجـب افـزایش تولیـد غـلات می‌شود، درحالی‌که انتشار کربن کشاورزی، به‌ویژه در کوتاه‌مـدت، اثـر منفی بر این روند دارد. این مطالعات تأکید می‌کنند که تغییرات اقلیمی نه‌تنها تولید غلات را تحت تأثیر قرار می‌دهـد، بلکـه نقـش مـدیریت منابع، بهره‌وری آب، و سیاست‌های سازگاری را نیز در پایـداری تولیـد برجسته می‌سازد (Koondhar et al., 2021).

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که در اغلب مطالعات، تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولید غلات عمدتاً با تمرکز بر دو متغیر دما و بارندگی تحلیل شده است. درحالی‌که این دو متغیر نقش مهمی در عملکرد محصولات کشاورزی دارند، اما نادیده گرفتن سایر عوامل اقلیمی می‌تواند منجر به تحلیل‌های ناقص و عدم درک جامع از چگونگی اثرگذاری تغییرات اقلیمی بر تولید غلات شود. از جمله متغیرهای کلیدی که در پژوهش‌های انجام‌شده کمتر موردتوجه قرار گرفته‌اند، تغییرات در الگوهای فصلی، خشکسالی و سطح زیرکشت است. این پژوهش با در نظر گرفتن این سه متغیر در کنار دما و بارندگی، چارچوبی جامع‌تر برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ارائه می‌دهد. تغییرات الگوی فصلی، که شامل تغییر در توزیع بارش و دما در طول فصل رشد است، می‌تواند بر دوره رشد گیاه و میزان عملکرد تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. در بسیاری از مناطق، تغییرات در زمان‌بندی آغاز فصل بارندگی و شدت آن باعث تغییر در الگوی رشد و نیاز آبی گیاه شده و حتی ممکن است منجر به کاهش کیفیت و کمیت محصول شود. از سوی دیگر، خشکسالی که یکی از پدیده‌های مهم مرتبط با تغییر اقلیم است، تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر عملکرد گندم دارد و می‌تواند موجب کاهش دسترسی به منابع آبی، افزایش تنش آبی گیاه و درنهایت افت عملکرد شود. این پژوهش با در نظر گرفتن خشکسالی به‌عنوان یک متغیر مستقل، اهمیت این عامل را در تحلیل اثرات اقلیمی بر تولید غلات برجسته می‌کند.

علاوه بر این، سطح زیرکشت به‌عنوان یک متغیر قابل‌کنترل در فرآیند تولید، نقشی اساسی در تأمین امنیت غذایی دارد. بسیاری از مطالعات پیشین بیشتر بر عوامل غیرقابل‌کنترل مانند دما و بارندگی تمرکز کرده‌اند، درحالی‌که سطح زیرکشت تحت تأثیر سیاست‌های کشاورزی، تکنولوژی‌های نوین و اقدامات مدیریتی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تنظیم‌کننده برای مقابله با تغییرات اقلیمی استفاده شود. این پژوهش با تأکید بر نقش سطح زیرکشت در کنار عوامل اقلیمی، چارچوبی جامع‌تر برای تحلیل پایداری تولید گندم در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی ارائه می‌دهد.

درمجموع، نوآوری این پژوهش در مقایسه با مطالعات پیشین در این است که علاوه بر بررسی اثرات دما و بارندگی، تأثیر تغییرات در الگوهای فصلی، خشکسالی و سطح زیرکشت را نیز در مدل تحلیلی خود لحاظ کرده و به‌طور خاص بر محصول استراتژیک گندم تمرکز دارد. این دیدگاه جامع‌تر می‌تواند به درک بهتری از چگونگی تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی بر کشاورزی و تدوین راهکارهای مؤثر برای افزایش تاب‌آوری این بخش کمک کند.

## روش پژوهش

این پژوهش از نوع تحقیقات کاربردی و کمی بوده و به‌صورت پس‌رویدادی[1] طراحی شده است. هدف اصلی، تحلیل اثرات متغیرهای اقلیمی بر تولید گندم در ایران در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی سری زمانی است. برای این منظور، داده‌های سالانه مربوط به متغیرهای تحقیق از منابع رسمی و معتبر نظیر پایگاه داده بانک جهانی، مرکز آمار ایران و سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شده‌اند. برای تحلیل روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین متغیرهای اقلیمی و تولید گندم، از مدل خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیعی (ARDL) معرفی شده توسط پسران و همکاران (Pesaran et al., 1999) بهره گرفته شد. این روش به دلیل عملکرد بهینه در نمونه‌های با حجم کوچک، نسبت به سایر روش‌های اقتصادسنجی برتری دارد. یکی از مهم‌ترین مزایای روش ARDL، امکان تعیین وقفه‌های بهینه برای هر متغیر به‌صورت مستقل در فرآیند تخمین مدل است. افزون بر این، برخلاف سایر روش‌های هم‌انباشتگی که مستلزم یکسان بودن درجه انباشتگی متغیرها هستند، این روش قابلیت استفاده برای متغیرهایی با درجات مختلف انباشتگی را دارد. این ویژگی‌ها، انعطاف‌پذیری و دقت بیشتری را در تحلیل روابط پیچیده اقتصادی فراهم می‌آورد (حاجی‌رحیمی و همکاران، ۱۴۰۳).

استفاده از رویکرد ARDL در این پژوهش، امکان بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی بر تولید گندم را در بازه‌های زمانی مختلف فراهم می‌کند و موجب درک عمیق‌تری از پویایی‌های این روابط می‌شود. با بهره‌گیری از یافته‌های پژوهش‌های پیشین و انتخاب متغیرهایی که تغییرات اقلیمی را به‌طور جامع نشان می‌دهند، مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر تولید گندم شناسایی و در مدل تحقیق لحاظ شده‌اند. در این راستا، مدل مفهومی پژوهش به‌صورت زیر تبیین می‌شود:

$$Prod = f\,(Land, Rain, Temp, Tcal, SPI) \quad (۱)$$

تعریف متغیرهای معادله (۱) و واحد اندازه‌گیری آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. تمامی متغیرها پس از تبدیل لگاریتمی در مدل لحاظ شده‌اند. تغییرات دما و میزان بارش از عوامل کلیدی تأثیرگذار بر رشد و عملکرد گندم هستند، به‌گونه‌ای که افزایش دما و کاهش بارندگی می‌تواند موجب کاهش تولید شود. تغییرات در الگوهای فصلی، مانند تغییر زمان شروع فصل رشد، بر سازگاری گیاه با شرایط محیطی اثرگذار است. همچنین، وقوع مکرر خشکسالی باعث کاهش منابع آبی و افزایش تنش رطوبتی می‌شود. سطح زیر کشت نیز به‌عنوان یک متغیر کنترلی در نظر گرفته شده تا اثرات تغییرات اقلیمی بر تولید گندم به‌صورت مستقل از نوسانات سطح کشت بررسی شود.

1- ex post facto

**جدول ۱- متغیرها، واحد اندازه‌گیری و منابع داده**

| کد | متغیرها | واحد اندازه‌گیری | منبع |
|---|---|---|---|
| *lnProd* | تولید گندم | تن | وزارت جهاد کشاورزی |
| *lnRain* | میانگین بارندگی | میلی‌متر | بانک جهانی |
| *lnTemp* | میانگین دما | درجه سلسیوس | بانک جهانی |
| *lnSPI* | شاخص خشکسالی SPI | – | بانک جهانی |
| *lnTcal* | تغییرات در الگوهای فصلی | روز | وزارت جهاد کشاورزی |
| *lnland* | سطح زیرکشت گندم | هکتار | وزارت جهاد کشاورزی |

با استفاده از لگاریتم طبیعی، مدل خطی را می‌توان به‌صورت معادله (۲) نوشت:

$$lnProd_t = \beta_0 + \beta_1(Lland)_t + \beta_2(lnRain)_t + \beta_3(lnTemp)_t + \beta_4(lnSPI)_t + \beta_5(lnTcal)_t + u_t \quad (۲)$$

در معادله (۲)، جزء $u_t$ نشان‌دهنده تأثیر سایر متغیرهای مؤثر بر تولید گندم است. به‌منظور ارزیابی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرهای تعریف‌شده بر تولید گندم، معادله (۱) را می‌توان در چارچوب مدل خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیعی (ARDL) تنظیم و به‌صورت معادله (۳) ارائه کرد.

$$\Delta(lnProd)_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p}\beta_1\Delta(lnProd)_{t-i} + \beta 2\,(Lland)_{t-i} + \beta 3\,(lnRain)_{t-i} + \beta 4\,(lnTemp)_{t-i} + \beta 5\,(lnSPI)_{t-i} + \beta 6(lnTcal)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\gamma_1\Delta\,(lnProd)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\gamma_2\,\Delta\,(Lland)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\gamma_3\Delta(lnTemp)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\gamma_4\Delta(lnRain)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\gamma_5\Delta\,(lnSPI)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\gamma_6\Delta\,(lnTcal)_{t-i} + ut \quad (۳)$$

در معادله (۳)، ضرایب $\beta$ نشان‌دهنده پویایی‌های کوتاه‌مدت، درحالی‌که ضرایب $\gamma$ بیانگر تأثیرات بلندمدت بر تولید گندم هستند. نماد $\Delta$ تفاضل مرتبه اول متغیرها را نشان می‌دهد و Ut به‌عنوان جمله اخلال مدل، تأثیر سایر عوامل را بر میزان تولید گندم در نمونه موردبررسی منعکس می‌کند.

پیش از تخمین مدل، ارزیابی ایستایی متغیرها امری ضروری است. در این پژوهش، برای بررسی ایستایی از آزمون‌های ریشه واحد دیکی–فولر تعمیم‌یافته (ADF) و فیلیپس–پرون (PP) استفاده شده است. طول وقفه بهینه با استفاده از فرمول $(P+1)^k$ تعیین می‌شود که در آن P حداکثر وقفه بهینه و k تعداد متغیرهاست. با توجه به محدودیت حجم داده‌ها در این پژوهش، برای انتخاب وقفه بهینه از معیار شوارتز–بیزین (SBC) به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شده است. پس از تعیین وضعیت ایستایی متغیرها، وجود یا عدم وجود رابطه بلندمدت میان آن‌ها با استفاده از آزمون کرانه‌ای، معرفی‌شده توسط Pesaran et al. (2001) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این آزمون، فرضیه صفر بر عدم وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها دلالت دارد که به‌صورت معادله (۴) بیان می‌شود:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$
$$H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq \beta_5 \neq 0 \quad (۴)$$

وقتی‌که وجود رابطه تعادلی بلندمدت اثبات گردید (رد فرضیه صفر)، در مرحله بعدی، مدل ARDL بلندمدت به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$lnProd=\varphi_0 \sum_{i=0}^{p}\varphi_1(lnProd)_{t-i}++ \sum_{i=0}^{p}\varphi_2(Lland)_{t-i} + \sum_{i=0}^{p}\varphi_3(lnTemp)_{t-i} + \sum_{i=0}^{p}\varphi_4(lnTemp)_{t-i} + \sum_{i=0}^{p}\varphi_5(lnSPI)_{t-i} + \sum_{i=0}^{p}\varphi_6(lnTcal)_{t-i} + \varepsilon_t \quad (۵)$$

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 به‌صورت زیر است:

$$\Delta(lnProd)_t = \lambda_0 + \sum_{i=1}^{p}\lambda_1\Delta(lnProd)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\lambda_2\Delta(Lland)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\lambda_3\Delta(lnTemp)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\lambda_4\Delta(lnRain)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\lambda_5\Delta(lnSPI)_{t-i} + \sum_{i=1}^{p}\lambda_6\Delta(lnTcal)_{t-i} + \theta\mathrm{ECM}_{t-1} + u_t \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، ضرایب $\lambda_1$ تا $\lambda_7$ نشان‌دهنده پویایی‌های کوتاه‌مدت مدل نسبت به بلندمدت هستند. همچنین ECM باقیمانده حاصل از برآورد رابطه بلندمدت بوده و $\theta$ به‌عنوان ضریب تصحیح خطا(ECM) سرعت تعدیل به سمت تعادل بلندمدت را نشان می‌دهد. این ضریب باید مقداری بین صفر و منفی یک داشته باشد و از نظر آماری معنی‌دار باشد تا تأیید کند که عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت در طول زمان اصلاح شده و سیستم به تعادل بلندمدت همگرا می‌شود.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون بررسی ریشه واحد، در جدول (۲) ارائه گردیده است. بر اساس یافته‌های این آزمون، متغیرهای مرتبط با سطح زیرکشت، میانگین بارندگی و تغییرات الگوهای فصلی، در سطح اولیه خود دارای ویژگی ایستایی نمی‌باشند. بنابراین، به‌منظور بررسی دقیق‌تر، آزمون تفاضل مرتبه اول برای تمامی متغیرهای مدل انجام شد. نتایج بدست آمده از این مرحله نشان می‌دهد که تمامی متغیرها پس از تفاضل‌گیری مرتبه اول، ویژگی ایستایی را به دست آورده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر یک شوک یا وقفه قبل از شروع دوره موردمطالعه بر رفتار این متغیرهاست. از سوی دیگر، توجه به تفاوت در مرتبه ایستایی متغیرها – به‌طور خاص، مانا شدن متغیر وابسته با یک

بار تفاضل‌گیری - نشان می‌دهد که استفاده از مدل ARDL به‌عنوان رویکرد مناسب برای برآورد روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت در این مجموعه داده‌ها، در این پژوهش انتخاب شده است.

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. ازآنجایی‌که مقدار آماره F محاسباتی (۷/۴۸) 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.

**جدول ۲- نتایج آزمون‌های ریشه واحد**

| متغیرها | ADF | | PP | | نتیجه |
|---|---|---|---|---|---|
| | سطح | تفاضل مرتبه اول | سطح | تفاضل مرتبه اول | |
| ***lnProd*** | -۲/۴۲ | -۵/۶۲* | -۲/۴۷ | -۶/۳۱* | I(1) |
| ***lnRain*** | -۴/۰۸* | -۷/۲۱* | -۴/۲۹* | -۹/۸۲* | I(0) |
| ***lnTemp*** | -۲/۶۲ | -۵/۹۱* | -۲/۴ | -۷/۳۹* | I(1) |
| ***lnSPI*** | ۱/۶۹ | -۶/۸۸* | ۱/۶۲ | -۶/۹۱* | I(1) |
| ***lnTcal*** | -۴/۱۷* | -۷/۰۲* | -۴/۲۵* | -۹/۷۹* | I(0) |
| ***lnland*** | -۳/۶۳** | -۷/۵۸* | -۳/۶۲** | -۹/۸۷* | I(0) |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

**جدول ۳- نتایج آزمون کرانه‌ها برای وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها**

| ارزش بحرانی | کران پایین (۰)I | | کران بالا (۱)I | | آماره F |
|---|---|---|---|---|---|
| | پسران | نارایان | پسران | نارایان | |
| ٪۱ | ۳/۲۷ | ۳/۵۲ | ۴/۸۱ | ۵/۰۱ | ۷/۴۸ |
| ٪۵ | ۲/۷۳ | ۲/۸۸ | ۳/۷۴ | ۴/۰۸ | |

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پس از بررسی هم‌انباشتگی و رابطه بلندمدت میان متغیرها، نتایج برآورد مدل ARDL در بلندمدت در جدول (۴) ارائه شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که متغیر میانگین بارندگی(lnRain) دارای اثر مثبت و معنی‌داری بر تولید گندم است؛ به‌گونه‌ای که افزایش میزان بارش، منجر به رشد قابل‌توجه تولید این محصول می‌گردد. بارندگی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی در تأمین نیاز آبی گیاه، نقشی حیاتی در بهبود عملکرد محصولات زراعی ایفا می‌کند و به‌ویژه در مورد گندم که دوره رشد طولانی‌تری دارد، از اهمیت مضاعفی برخوردار است. افزایش بارش نه‌تنها به تأمین رطوبت کافی برای فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه کمک می‌کند، بلکه با بهبود کیفیت و ساختار خاک، جذب بهتر مواد غذایی و کاهش فشار بر منابع آبی زیرزمینی نیز همراه است. این موضوع در مناطق تحت کشت دیم، که فاقد سیستم‌های آبیاری هستند، اهمیت بیشتری می‌یابد؛ چراکه تولید گندم در این نواحی کاملاً وابسته به بارش‌های فصلی است و هرگونه کاهش یا بی‌نظمی در الگوی بارندگی می‌تواند منجر به کاهش نرخ جوانه‌زنی، اختلال در مراحل رشد و درنهایت افت شدید عملکرد محصول شود. بنابراین، بارندگی کافی و منظم، یکی از مؤلفه‌های کلیدی پایداری تولید گندم در شرایط اقلیمی ایران محسوب می‌شود. مطالعات علمی مختلف تأیید کرده‌اند که بارش کافی نقش کلیدی در افزایش وزن دانه‌ها و عملکرد نهایی دارد (Pickson & Boateng, 2022؛ Asfew and Bedemo, 2022؛ حاجی‌رحیمی و همکاران، ۱۴۰۳). بنابراین، هرگونه تغییر در الگوی بارندگی، چه ازنظر مقدار و چه از نظر توزیع زمانی، می‌تواند تأثیر مستقیمی بر بازده محصول داشته باشد. در مقابل، میانگین دما (lnTemp) دارای تأثیر منفی و معنی‌دار بر تولید گندم بوده که مطابق با انتظارات تئوریک است. افزایش دما می‌تواند از طریق چندین مکانیسم بر کاهش عملکرد گندم اثر بگذارد. اولاً، دماهای بالاتر منجر به افزایش تعرق و تبخیر آب از سطح خاک شده که در شرایط کمبود بارندگی باعث کاهش رطوبت در دسترس گیاه می‌شود. ثانیاً، افزایش دما می‌تواند دوره رشد گندم را کوتاه‌تر کند، به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه که تأثیر مستقیمی بر وزن نهایی دانه دارد. کاهش طول دوره پر شدن دانه موجب کاهش تولید بیوماس و کاهش بازده کلی می‌شود. علاوه بر این، دماهای بیش‌ازحد در مراحل گلدهی می‌توانند باعث کاهش نرخ گرده‌افشانی و کاهش باروری گیاه شوند، که این امر درنهایت منجر به کاهش تعداد

دانه در سنبله خواهد شد. یافته‌های این پژوهش همسو با مطالعات پیشین (Warsame et al., 2021؛ Khan et al.,2019 ,Chandio et al., 2022؛ حاجی‌رحیمی و همکاران، ۱۴۰۳) نشان می‌دهد که افزایش دما، به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، تأثیر منفی شدیدی بر تولید گندم دارد و در صورت تداوم گرمایش جهانی، نیاز به توسعه روش‌های سازگاری مانند اصلاح ژنتیکی ارقام مقاوم به گرما، تغییر تقویم زراعی و بهینه‌سازی روش‌های آبیاری برای کاهش اثرات منفی دما احساس می‌شود.

علاوه بر این، شاخص خشکسالی (lnSPI) نیز تأثیر منفی و معنی‌داری بر تولید گندم نشان داده است که بیانگر اثرات مخرب دوره‌های خشکسالی بر عملکرد این محصول است. کاهش دسترسی به منابع آبی و کاهش رطوبت خاک در شرایط خشکسالی، ظرفیت رشد گیاه را محدود کرده و موجب کاهش عملکرد محصول در بلندمدت می‌شود. از سوی دیگر، تغییرات در الگوهای فصلی (lnTcal)تأثیری منفی اما غیر معنی‌دار بر تولید گندم داشته است که نشان می‌دهد تغییرپذیری در توزیع بارش‌ها و دما در طول فصل‌ها ممکن است تأثیر منفی داشته باشد، اما این اثر از نظر آماری آن‌چنان قوی نیست که به‌عنوان یک عامل اصلی در کاهش تولید گندم شناخته شود. این نتیجه نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی در فصول زراعی احتمالاً به کشاورزان اجازه داده است که تا حدی خود را با این تغییرات تطبیق دهند، اما همچنان اثرات منفی آن بر عملکرد محصول را نمی‌توان نادیده گرفت.

درنهایت، سطح زیرکشت گندم (lnland) دارای تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تولید گندم بوده که مطابق با انتظارات است. گسترش سطح زیرکشت می‌تواند منجر به افزایش تولید شود، اما این تأثیر به میزان بهره‌وری زمین‌های جدید نیز وابسته است. در مدل حاضر، ضریب عرض از مبدأ مقدار مثبتی را نشان می‌دهد که بیانگر اثرات سایر عوامل ثابت و غیرمستقیم بر تولید گندم است. درمجموع، یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کنند که در بلندمدت، تغییرات اقلیمی از طریق متغیرهای بارندگی، دما و خشکسالی اثرات قابل‌توجهی بر تولید گندم دارند و هرگونه سیاست‌گذاری در جهت افزایش تاب‌آوری کشاورزان باید به این عوامل توجه داشته باشد.

**جدول ٤- نتایج تخمینی ضرایب بلندمدت مدل ARDL**

| متغیرها | ضرایب | آماره t |
|---|---|---|
| **برآورد ضرایب بلندمدت:** | | |
| **C** | ۲/۱۲ | ۱/۹۸** |
| ***lnRain*** | ۰/۲۸ | ۳/۲۶* |
| ***lnTemp*** | -۰/۲۴ | -۲/۴۱** |
| ***lnSPI*** | -۰/۲۱ | -۲/۲۷** |
| ***lnTcal*** | -۰/۱۴ | -۱/۴۵ |
| ***lnland*** | ۰/۳۹ | ۴/۳۶** |

مأخذ: یافته‌های پژوهش (*، ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد)

نتایج ارائه‌شده در جدول (۵)، ضرایب کوتاه‌مدت مدل ARDL را برای تولید گندم نشان می‌دهند و بیانگر اثرات کوتاه‌مدت تغییرات متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته هستند. همان‌گونه که از نتایج برمی‌آید، میانگین بارندگی در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار است. این یافته حاکی از آن است که در بازه زمانی کوتاه‌مدت، افزایش بارندگی با بهبود سریع شرایط رطوبتی خاک، ارتقاء فرایندهای رشد گیاه و افزایش دسترسی ریشه‌ها به آب، تأثیر مثبتی بر عملکرد گندم دارد. بااین‌حال، شدت این تأثیر در کوتاه‌مدت کمتر از اثر بلندمدت آن است، که این تفاوت می‌تواند ناشی از نقش تدریجی ذخیره‌سازی رطوبت در منابع آب زیرزمینی، بهبود ساختار خاک و تغذیه بهتر گیاه در طول زمان باشد. بنابراین، تأثیر بارندگی در بلندمدت، علاوه بر پاسخ‌های فیزیولوژیک آنی گیاه، با ارتقاء پایداری اکوسیستم زراعی نیز همراه است و نقشی اساسی در تداوم و افزایش تولید گندم ایفا می‌کند.

از سوی دیگر، دمای میانگین از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. این عدم معنی‌داری می‌تواند ناشی از آن باشد که تغییرات دما در کوتاه‌مدت به‌طور مستقیم بر رشد گیاه تأثیر شدید نداشته و تأثیرات آن بیشتر در بلندمدت ظاهر می‌شود. همچنین شاخص خشکسالی نیز در کوتاه‌مدت معنی‌دار نبوده است. این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات این شاخص در یک بازه کوتاه نمی‌تواند اثرات فوری بر تولید گندم داشته باشد، اما در بلندمدت، با کاهش منابع آبی و افزایش شدت خشکسالی، اثرات آن برجسته‌تر می‌شود. در مورد تغییرات الگوهای فصلی، عدم معنی‌داری آن نشان می‌دهد که نوسانات جزئی در این الگوها در کوتاه‌مدت تأثیر چشمگیری بر تولید گندم ندارند. بااین‌حال، در بلندمدت، تغییرات تدریجی در روندهای فصلی می‌توانند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر تولید این محصول تأثیرگذار باشند. سطح زیرکشت

گندم نیز در سطح معناداری ۱، تأثیر مثبتی بر تولید دارد که نشان می‌دهد، افزایش سطح زیرکشت حتی در کوتاه‌مدت نیز می‌تواند منجر به افزایش تولید گندم شود، اما تأثیر آن در بلندمدت به عوامل دیگری مانند بهره‌وری زمین و تأمین منابع آبی بستگی دارد.

ضریب تصحیح خطا ((ECM(-1)) در جدول (۵) برابر ۰/۲۹- و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است، که نشان‌دهنده سرعت نسبتاً بالای تعدیل عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت و حرکت به سمت تعادل بلندمدت است. این مقدار بیانگر آن است که در هر دوره، حدود ۲۹ درصد از انحراف تولید گندم از مقدار تعادلی خود تعدیل شده و به مسیر تعادلی بازمی‌گردد.

**جدول ۵- نتایج تخمینی ضرایب کوتاه‌مدت مدل ARDL**

| متغیرها | ضرایب | آماره t |
|---|---|---|
| **برآورد ضرایب کوتاه‌مدت:** | | |
| **C** | ۱/۵۷ | ۱/۸۲*** |
| ***ΔlnRain*** | ۰/۱۳ | ۲/۳۷** |
| ***ΔlnTemp*** | -۰/۱ | -۱/۴۶ |
| ***ΔlnSPI*** | -۰/۰۷ | -۱/۲۲ |
| ***ΔlnTcal*** | -۰/۰۶ | -۲/۰۸** |
| ***Δlnland*** | ۰/۱۸ | ۲/۷۳* |
| ***ECM (-1)*** | -۰/۲۹ | -۴/۴۸* |

مأخذ: یافته‌های پژوهش (*، ** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد)

## نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده و پایداری تولید محصولات اساسی مانند گندم را با تهدیدهای جدی مواجه کرده است. تغییر در متغیرهای اقلیمی موجب بروز نوسانات گسترده در عملکرد محصولات کشاورزی شده است. در این راستا، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر تولید گندم 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 تعمیم‌یافته انجام شده تا از مانایی متغیرها اطمینان حاصل شود.

یافته‌های این پژوهش به‌روشنی نشان می‌دهد که متغیرهای اقلیمی و کشاورزی تأثیر بسزایی بر تولید گندم در ایران دارند. نتایج حاکی از آن است که میزان بارندگی و سطح زیرکشت، به‌عنوان دو عامل کلیدی، تأثیر مثبت و معناداری بر تولید گندم داشته‌اند؛ به‌طوری‌که افزایش در هر یک از این متغیرها، هم در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و هم در افق بلندمدت، به افزایش تولید این محصول استراتژیک منجر شده است. در نقطه مقابل، میانگین دما اثری منفی و معنی‌دار بر عملکرد گندم داشته و این امر بیانگر اثرات منفی افزایش دما بر مراحل رشد، فتوسنتز و باردهی این گیاه است. همچنین، درحالی‌که شاخص خشکسالی (SPI) در کوتاه‌مدت اثر قابل‌توجهی نشان نداده، اما در بلندمدت تأثیر منفی و معنی‌داری بر تولید داشته است که می‌توان آن را ناشی از کاهش تدریجی ذخایر آبی، افت رطوبت خاک و تنش‌های مزمن اقلیمی دانست. از سوی دیگر، تغییرات در الگوهای فصلی تنها در کوتاه‌مدت اثر منفی و معنی‌داری بر تولید گندم داشته‌اند، که احتمالاً نتیجه ناهماهنگی موقت در زمان کاشت و برداشت یا تغییرات ناگهانی آب‌وهوایی است؛ این در حالی است که در بلندمدت، سازوکارهای تطبیقی کشاورزان و سیستم‌های کشت موجب خنثی شدن اثرات آن شده‌اند. درمجموع، نتایج این تحقیق هشدار مهمی نسبت به پیامدهای اقلیمی برای امنیت غذایی کشور ارائه می‌کند و بر لزوم طراحی و اجرای سیاست‌های سازگاری، به‌ویژه در زمینه مدیریت منابع آب، انتخاب زمان کاشت بهینه و توسعه ارقام مقاوم، به‌منظور حفظ ظرفیت تولید گندم در شرایط اقلیمی متغیر تأکید دارد.

بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که در راستای افزایش پایداری تولید گندم در شرایط تغییر اقلیم، مجموعه‌ای از اقدامات متناسب با متغیرهای مؤثر شناسایی‌شده در مدل اتخاذ شود. با توجه به تأثیر مثبت و معنادار میزان بارندگی، مدیریت بهینه منابع آبی حاصل از بارش‌ها ازجمله تقویت روش‌های حفظ رطوبت خاک و بهره‌برداری مؤثر از رواناب‌ها ضروری است. همچنین، با توجه به تأثیر منفی میانگین دما بر عملکرد گندم، توسعه و کاشت ارقام مقاوم به گرما و اعمال مدیریت مزرعه‌ای متناسب با تنش‌های حرارتی پیشنهاد

می‌شود. ازآنجاکه شاخص خشکسالی در بلندمدت اثر منفی و معناداری دارد، پایش مستمر وضعیت خشکسالی و اولویت‌دهی به مناطق آسیب‌پذیر برای مداخلات اقلیمی هدفمند توصیه می‌گردد. درنهایت، با درنظر گرفتن نقش مثبت تغییرات فصلی در کوتاه‌مدت، بهره‌گیری از داده‌های اقلیمی و اصلاح تقویم زراعی برای تنظیم بهینه زمان کاشت و برداشت می‌تواند مؤثر واقع شود.

## منابع


اسعدی، م. ع.، حاجی‌رحیمی، م. و مرتضوی، س. ا. ۱۳۹۸. اثرات سیاست محدودیت عرضه آب کشاورزی بر الگوی کشت: مطالعه موردی دشت دهگلان در استان کردستان. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۷(۱۰۷): ۱۳۰-۱۱۰.

افروخته، ح.، حاجی‌پور، م.، گرزین، م. و نجاتی، ب. ۱۳۹۲. جایگاه توسعه پایدار کشاورزی در برنامه‌های توسعه ایران (مورد: برنامه‌های پنج ساله پس از انقلاب). سیاست‌های راهبردی و کلان. ۱(۱): ۶۲-۴۳.

امیرنژاد، ح. و اسدپورکردی، م. ۱۳۹۶. اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران. تحقیقات اقتصاد کشاورزی ایران ۹(۳۵): ۱۸۲-۱۶۳.

بهرامی، م.، خلیلیان، ص.، مرتضوی، ا. ق. و اسعدی، م. ع. ۱۳۹۷. بررسی بهره‌وری فیزیکی مصرف آب کشاورزی در استان‌های منتخب ایران (مطالعه موردی: محصول گندم). آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲(۷۲): ۱۵۱۸-۱۵۱۱.

جنت صادقی، م.، شاهنوشی‌فروشانی، ن.، دانشور کهکی، م.، دورانديش، ا. و محمدی، ح. ۱۳۹۷. ارزیابی عوامل مؤثر بر عملکرد محصولات کشاورزی استراتژیک (گندم و جو) در استان خراسان رضوی. اقتصاد کشاورزی. ۱۲(۲): ۱۳۴-۱۱۱.

حاجی‌رحیمی، م.، شریفی، ف. اسعدی، م .ع. ۱۴۰۳. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روند تولید غلات و امنیت غذایی در ایران. پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی. ۵(۲۰): ۷۸-۶۵

شایان مهر، س.، شاهنوشی, ن.، صبوحی، م. و رستگاری، ش. ۱۴۰۰. تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر امنیت غذایی در منطقه خراسان. اقتصاد کشاورزی، ۱۵(۴): ۱۲۸-۹۵.

کیانی، س.، شهرکی، ج.، اکبری، ا. و شهرکی، ع.س. ۱۳۹۸. اثر تغییرات اقلیمی بر تولید بخش کشاورزی ایران: مطالعه موردی محصول گندم. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۲(۱۲۵). ۱۲۷-۱۰۹.

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.

Asaadi, M. A., Khalilian, S. and Mousavi, S. H. 2021. Evaluation of agricultural sustainability indicators and determination of cropping patterns with emphasis on deficit irrigation strategy: the case of the Qazvin irrigation network, Iran. Water Conservation Science and Engineering. 6(1): 11-23.

Asfew, M. and Bedemo, A. 2022. Impact of climate change on cereal crops production in Ethiopia. Advances in Agriculture. 1: 2208694.

Ashaolu, E. D. and Iroye, K. A. 2018. Rainfall and potential evapotranspiration patterns and their effects on climatic water balance in the Western Lithoral Hydrological Zone of Nigeria. Ruhuna Journal of Science. 9(2):92-116.

Chandio, A. A., Ozturk, I., Akram, W., Ahmad, F. and Mirani, A. A. 2020. Empirical analysis of climate change factors affecting cereal yield: evidence from Turkey. Environmental Science and Pollution Research. 27: 11944-11957.

Esfandeh, S., Danehkar, A., Salmanmahiny, A., Alipour, H., Kazemzadeh, M., Marcu, M. V. and Sadeghi, S. M. M. 2024. Climate change projection using statistical downscaling model over southern coastal Iran. Heliyon. 10(8). e29416.

Khan, A., Ali, S., Shah, S. A., Khan, A. and Ullah, R. 2019. Impact of climate change on maize productivity in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. Sarhad Journal of Agriculture. 35(2): 594-601.

Koondhar, M. A., Udemba, E. N., Cheng, Y., Khan, Z. A., Koondhar, M. A., Batool, M. and 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.

Köprücü, Y. and Acaroğlu, H. 2023. How cereal yield is influenced by eco-environmental factors? ARDL and spectral causality analysis for Turkey. Cleaner Environmental Systems. 10: 100128.

Ojara, M. A., Babaousmail, H., Aribo, L., Namumbya, S., Mumo, L. and Ogwang, B. A. 2024. Patterns of rainfall and temperature and their relationships with potential evapotranspiration rates over the period 1981–2022 in parts of central, western, southern, and southwestern Uganda. Environmental Monitoring and Assessment. 196(10): 898.

Pesaran, H. M. and 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

Potgieter, A., Meinke, H., Doherty, A., Sadras, V. O., Hammer, G., Crimp, S. and Rodriguez, D. 2013. Spatial impact of projected changes in rainfall and temperature on wheat yields in Australia. Climatic change. 117: 163-179.

Rahman, M. N., Azim, S. A., Jannat, F. A., Rony, M. R. H., Ahmad, B. and Sarkar, M. A. R. 2023. Quantification of rainfall, temperature, and reference evapotranspiration trend and their interrelationship in sub-climatic zones of Bangladesh. Heliyon. 9(9):e19559

Frisch Centennial Symposium. Econometric Society Monographs. Cambridge University Press, Cambridge. 371–413.

Pesaran, H. M., Shin, Y. and Smith. R. J. 2001. Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships, Journal of Applied Econometrics. 16(3): 289-326.

Pickson, R. B. and Boateng, E. 2022. Climate change: a friend or foe to food security in Africa? Environment, Development and Sustainability. 1-26.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 19, Feb.-Mar. 2026, p. 994-1003

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۹، بهمن - اسفند ۱۴۰۴، ص. ۱۰۰۳-۹۹۴

# Investigating the Impact of Climate Change on the Production of Agricultural Products in Iran (Case study: Wheat)

**Z. Ali Mohammasdi[1], M.A, Asaadi[2], S. Khalilian[3*]**
Recived: May.07, 2025 Accepted: Aug.16, 2025

## Abstract

Climate change is one of the fundamental and growing challenges in the 21st century, which has far-reaching consequences for economic and environmental activities, especially in the agricultural sector. The increase in average temperature, fluctuations in rainfall patterns, and the recurrence of droughts have directly affected crop yields and affected the food security of countries. Wheat, as one of the strategic products in the Iranian household food basket, is more exposed to climate change-induced damage than other products. The aim of this study is to analyze the climate effects on wheat production in Iran using the autoregressive distribution lag (ARDL) model and time series data for the period 2000 to 2023. The results of the model estimation showed that the variables of crop area and rainfall in the short and long term had a positive and significant effect on wheat production in Iran during the study period. This finding emphasizes that increasing crop area and rainfall play an important role in improving wheat production. On the other hand, the average temperature in both the short and long term periods had a negative and significant effect on the production of this product, which indicates the adverse effect of increasing temperature on wheat growth and production. The SPI drought index also showed that it did not have a significant effect on wheat production in the short term, but its effect was negative and significant in the long term. In addition, changes in seasonal patterns had a positive and significant effect on production in the short term, but this effect was not significant in the long term. These results indicate the complex and multidimensional effects of climate change on wheat production. Based on the research findings, the use of heat and drought-resistant varieties and the application of a crop calendar compatible with seasonal changes, as a basic recommendation, can help reduce the vulnerability of wheat production to climate fluctuations.

**Keywords:** Climate change, Drought, Food security, ARDL model, Wheat

1 - Ph.D Condidate, Department of Agricultural Economics, faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2 - PhD in Agricultural Economics, Lecturer of University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
3 - Professor, Department of Agricultural Economics, faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: khalil_s@modares.ac.ir)