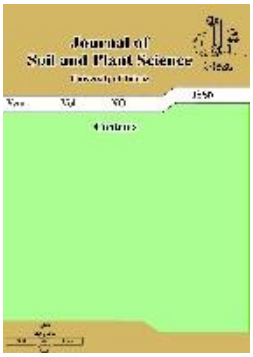
J Soil Plant Sci, 2026, 36(2): 19-39.

Journal of Soil and Plant Science

https://doi.org/10.22034/sps.2026.71848.1037
E-ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir



Research Article

Effects of Climate Change on Yield and Yield Risk of Selected Crops in Kurdistan Province

Mohammad Ghahremanzadeh[1]✉, Ghader Dashti[2], Mehrshid Kashefi[3], Neda Yadegar[4], Parisa Pakrooh[5]

1-Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: ghahremanzadeh@tabrizu.ac.ir
2-Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. E-mail: Dashti-g@tabrizu.ac.ir
3-Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. E-mail: Kashefimehrshid.99@gmail.com
4-Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. E-mail: yadeghar9@yahoo.com
5-Marie Sklodowska-Curie Research Fellow at University of Milano-Bicocca, Milan, Italy. E-mail: parisa.pakrooh@unimib.it

Received: April 01, 2026	**Revised:** May 06, 2026
Accepted: May 9, 2026	**Published:** Jun 21, 2026

Extended Abstract

Introduction

Climate change poses a significant threat to global agricultural systems, with profound implications for food security and rural livelihoods. This study focuses on Kurdistan Province, a key agricultural region in western Iran, where the production of strategic crops such as wheat, barley, and chickpea is highly vulnerable to climatic variability. The research aims to quantitatively analyze the impact of key climatic parameters-including precipitation, temperature, wind speed, and relative humidity - on both the yield and the yield risk of selected irrigated and rainfed crops. Understanding these relationships is critical for developing adaptive strategies and risk management policies to enhance the resilience of the agricultural sector in the face of changing climate conditions.

Materials and Methods

The study employs a stochastic production function approach, specifically the Just-Pope framework, which allows for the separate estimation of the effects of inputs on mean yield (production function) and on yield variance (risk function). Panel data from six major agricultural counties in Kurdistan Province (Bijar, Saqqez, Qorveh, Divandarreh, Kamyaran, and Sanandaj) were utilized. The data included annual crop yield statistics for irrigated and rainfed wheat, irrigated and rainfed barley, and rainfed chickpea, alongside monthly climatic variables from local weather stations. Various functional forms (linear, linear-quadratic, Cobb-Douglas, transcendental) were tested. The appropriate panel data estimation method (pooled, fixed effects, or random effects) was selected using the F-Limer test, Breusch-Pagan LM test, and Hausman test.

Results and Discussion

The empirical results revealed distinct and significant impacts of climatic factors on yield and yield risk. Cumulative growing season precipitation and minimum temperature had a consistent positive effect on the yield of all studied crops. Conversely, maximum temperature and average wind speed during the growing season exerted significant negative effects on yield. Regarding yield risk, precipitation acted as a risk-reducing factor, particularly for irrigated barley and chickpea. In contrast, maximum temperature and wind speed were identified as risk-increasing factors. The highest sensitivity to precipitation variability was observed in irrigated barley, while rainfed barley exhibited the greatest sensitivity to wind speed. Comparative analysis of risk elasticity indicated that barley (both irrigated and rainfed) is generally more vulnerable to climatic fluctuations compared to wheat and rainfed chickpea.

Conclusions

The findings underscore the substantial and differential influence of climate change on the productivity and stability of major crop systems in Kurdistan Province. The higher climatic risk associated with barley cultivation suggests a strategic shift in cropping patterns toward more resilient crops like wheat could mitigate farmers' exposure to climate-induced losses. Furthermore, adaptive measures such as the adoption of wind-resistant cultivars, the implementation of windbreaks, and the development of climate-informed agricultural extension services are strongly recommended. This study provides an empirical basis for policymakers and agricultural planners to enhance climate risk management and promote the sustainable adaptation of the agricultural sector in the region.

Keywords: Barley؛ Chickpea؛ Just-Pope framework؛ Panel data؛ Random production function؛ Wheat

Author Contributions

M. Ghahremanzadeh and N. Yadegar: Fformal analysis, investigation, methodology and writing original draft. Gh. Dashti: Conceptualization and validation. M. Kashefi and P. Pakrooh: Data curation and editing original draft. M. Ghahremanzadeh and Gh. Dashti: Review and editing original draft. All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis and manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

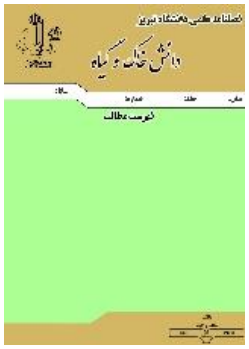
Cite this article: Ghahremanzadeh, M., Dashti, Gh., Kashefi, M., Yadeghar, N & Pakrooh, P. (2026). Effect of climate change on yield and yield risk of selected crops in Kurdistan province. *Journal of Soil and Plant Science*, 36(2), 19-39.
https://doi.org/10.22034/sps.2026.71848.1037

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Copyright © 2026 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS JOURNALS

دانش خاک و گیاه
Soil and Plant Science



نشریه دانش خاک و گیاه، جلد ۳۶، شماره ۲

صفحه‌های ۱۹ تا ۳۹، ۱۴۰۵

https://doi.org/10.22034/sps.2026.71848.1037

E-ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات زراعی منتخب استان کردستان

محمد قهرمان‌زاده[۱]✉، قادر دشتی[۲]، مهرشید کاشفی[۳]، ندا یادگار[۴]، پریسا پاکروح[۵]

۱-نویسنده مسئول، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

رایانامه: ghahremanzadeh@tabrizu.ac.ir

۲-گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Dashti-g@tabrizu.ac.ir

۳-گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Kashefimehrshid.99 @gmail.com

٤-گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: yadeghar9@yahoo.com

٥-فلوشیپ ماری سکلودوسکا- کوری، دانشگاه بیکوکا-میلانو، میلان، ایتالیا. parisa.pakrooh@unimib.it

تاریخ دریافت: ۱٤۰٥/۰۱/۱۲	**تاریخ بازنگری:** ۱٤۰٥/۰۲/۱٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٥/۰۲/۱۹	**تاریخ انتشار:** ۱٤۰٥/۰۳/۳۱

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مخاطره‌انگیزترین متغیرهای ساختاری در نظام‌های زیستی-اقتصادی، بخش کشاورزی را که وابستگی شدیدی به شرایط آب و هوایی دارد، به‌طور جدی تحت تأثیر قرار داده است. این مطالعه با هدف تحلیل تأثیر نوسانات پارامترهای اقلیمی بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات زراعی استراتژیک شامل گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و نخود دیم در استان کردستان انجام شد. برای دستیابی به این هدف، از رهیافت تابع تولید تصادفی جاست و پاپ و با استفاده از روش داده‌های پانلی برای شش شهرستان عمده تولیدکننده این محصولات استفاده گردید. نتایج حاصل از برآورد مدل‌ها نشان داد که متغیرهای اقلیمی اثرات متفاوتی بر عملکرد و ریسک این محصولات دارند؛ به‌طوری که بارندگی دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد اثر مثبت و معناداری بر افزایش عملکرد کلیه محصولات داشتند. در مقابل، افزایش دمای بیشینه و سرعت باد در دوره رشد، تأثیر منفی و معناداری بر کاهش عملکرد داشتند. از جنبه ریسک، بارندگی به‌عنوان یک عامل ریسک‌کاهنده و سرعت باد و دمای بیشینه به‌عنوان عوامل ریسک‌افزای عملکرد شناسایی شدند. بیشترین حساسیت ریسک عملکرد نسبت به تغییرات بارندگی در محصول جو آبی و بیشترین حساسیت نسبت به سرعت باد در محصول جو دیم مشاهده شد؛ به‌طوری که کشش ریسک عملکرد جو آبی نسبت به بارندگی ۱/۸۹- (عامل ریسک‌کاهنده) و نسبت به سرعت باد ٦/۷۲ (عامل ریسک‌افزا) برآورد گردید. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که اثرپذیری و ریسک‌پذیری محصول جو (هم آبی و هم دیم) در مقابل تغییر اقلیم بیشتر از گندم و نخود دیم است. بر این اساس، برای مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری بخش کشاورزی استان کردستان، پیشنهاد می‌شود در الگوی کشت منطقه، برای مدیریت ریسک اقلیمی، توسعه کشت گندم نسبت به جو در اولویت قرار گیرد و برای اراضی مستعد کشت جو، تمهیداتی نظیر استفاده از رقم‌های مقاوم به خشکی و باد و احداث بادشکن در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید تصادفی، جو، رهیافت جاست و پاپ، داده‌های پانلی، گندم، نخود.

استناد به این مقاله: قهرمان‌زاده، م.، دشتی، ق.، کاشفی، م.، یادگار، ن و پاکروح، پ. (۱٤۰٥). اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات زراعی منتخب استان کردستان. *نشریه دانش خاک و گیاه*، ۳٦(۲)، ۳۹-۱۹.

https://doi.org/10.22034/sps.2026.71848.1037

مقدمه

تغییر اقلیم به هرگونه دگرگونی بلندمدت و قابل‌توجه در الگوهای آب و هوایی زمین گفته می‌شود که می‌تواند شامل تغییر در میانگین دما، الگوهای بارندگی، شدت و فراوانی رویدادهای آب و هوایی شدید (مانند خشکسالی، سیل، طوفان‌های حاره‌ای و موج‌های گرما) و تغییرات در وضعیت طبیعی اقلیم زمین باشد (Keniah, 2023). این پدیده‌ها در طول دهه‌ها یا حتی هزاران سال رخ می‌دهند و می‌توانند ناشی از فرایندهای طبیعی (مانند تغییرات در فعالیت‌های خورشیدی یا فوران‌های آتشفشانی) یا فعالیت‌های انسانی باشند (Ebi *et al.*, 2021). با این حال، شواهد علمی گسترده نشان می‌دهند که تغییر اقلیم کنونی به‌طور عمده ناشی از انتشار فزاینده گازهای گلخانه‌ای به‌وسیله انسان و از سوزاندن سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و فعالیت‌های صنعتی است. این گازها گرمای خورشید را در جو زمین به دام انداخته و باعث افزایش دمای جهانی می‌شوند که خود آغازگر زنجیره‌ای از تغییرات گسترده در نظام‌های اقلیمی زمین از جمله ذوب شدن یخچال‌های طبیعی و صفحات یخی، بالا آمدن سطح آب دریاها، اسیدی شدن اقیانوس‌ها و تغییر در نظام‌های طبیعی است (Rossati, 2017). در نهایت، تغییر اقلیم به‌عنوان یک چالش جهانی، ابعاد گسترده‌ای را شامل می‌شود و پیامدهای جدی برای محیط‌زیست، اقتصاد و جوامع انسانی در سراسر جهان به همراه دارد.

تغییر اقلیم، به‌دلیل ماهیت جامع و فراگیر خود، تأثیری عمیق و چندوجهی بر بخش کشاورزی در سراسر جهان از جمله ایران گذاشته است. این تأثیر نه‌تنها بر میزان تولید و بهره‌وری محصولات زراعی اثر می‌گذارد، بلکه پایداری نظام‌های غذایی جهانی، ریسک تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی و معیشت میلیون‌ها کشاورز را به خطر می‌اندازد (Houshyar, 2025). یکی از اصلی‌ترین پیامدها، تغییر در الگوهای بارندگی است که منجر به افزایش خشکسالی‌ها در برخی مناطق و سیلاب‌های مخرب در مناطق دیگر می‌شود. این تغییرات آب و هوایی، دسترسی به آب کافی برای آبیاری را با چالش مواجه کرده و در مناطق دیم که وابستگی زیادی به بارش‌های طبیعی دارند، عملکرد محصولات کشاورزی را به شدت کاهش می‌دهد (Bibi & Rahman, 2023). در حقیقت تغییر اقلیم یکی از منابع اصلی ریسک تولید محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. به‌عنوان مثال، افزایش دما، به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، بر رشد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد، زیرا بسیاری از محصولات کشاورزی در محدوده دمایی خاصی بهترین عملکرد را دارند و دمای بیش از حد می‌تواند به آن‌ها آسیب برساند. علاوه بر این، افزایش دما می‌تواند چرخه زندگی آفات و بیماری‌های گیاهی را تسریع کرده و دامنه جغرافیایی آن‌ها را گسترش دهد، که این کار منجر به افزایش خسارات و نیاز به استفاده بیشتر از آفت‌کش‌ها می‌شود (Yang *et al.*, 2023). رویدادهای آب و هوایی شدیدتر و مکررتر، مانند طوفان‌های شدید، موج‌های گرما و سرما، و یخبندان‌های غیرمنتظره، می‌توانند در زمان‌های حساس رشد گیاه رخ داده و کل محصول را از بین ببرند یا به شدت کاهش دهند (Lal, 2021).

کشاورزی ایران، با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیم غالباً خشک و نیمه‌خشک، به‌شدت در برابر تأثیر گرمایش جهانی آسیب‌پذیر است. کاهش منابع آب، افزایش دما، و تغییر در الگوهای بارندگی می‌تواند بر تولید محصولات استراتژیک و امنیت غذایی کشور تأثیر منفی بگذارد. مناطق مختلف ایران با چالش‌های متفاوتی روبرو هستند؛ برخی مناطق با خشکسالی‌های شدیدتر و برخی دیگر با سیلاب‌های مخرب دست و پنجه نرم می‌کنند (Jalali

Monfared, 2025). این تغییر اقلیم نیازمند برنامه‌ریزی‌های جامع و اجرای سیاست‌های سازگارانه در بخش کشاورزی هستند تا تاب‌آوری این بخش در برابر شوک‌های آب و هوایی افزایش یابد. استان کردستان با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیم مناسب، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در غرب کشور محسوب می‌شود. از مجموع سطح زیر کشت این استان، بخش قابل‌توجهی به کشت گندم و جو اختصاص دارد. به‌طور تقریب، حدود ۷۰ درصد از اراضی زیر کشت آبی و دیم استان کردستان به گندم و جو اختصاص یافته است که سهم گندم دیم از این میزان بسیار چشمگیر و حدود ۷۲ درصد است. همچنین، حدود ۱۰ درصد از سطح زیر کشت استان نیز به نخود دیم اختصاص دارد که این استان را به یکی از تولیدکنندگان مهم نخود در کشور تبدیل کرده است (Ministry of Agriculture Jihad, 2024). این داده‌ها نشان‌دهنده اهمیت و جایگاه ویژه کشاورزی، به‌ویژه کشت دیم، در اقتصاد و معیشت مردم استان کردستان است. از این جنبه، بررسی تغییر اقلیم در این استان و تأثیر آن بر عملکرد و ریسک محصولات استراتژیک از جمله گندم، جو و نخود اهمیت بالایی دارد و این همان هدفی است که مطالعه حاضر به دنبال آن می‌باشد.

نظر به اهمیت موضوع، مطالعات فراوانی در رابطه با اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات زراعی انجام شده‌است. از جمله Karbasi & Ghaffari (2009) تأثیر شرایط آب و هوایی بر عملکرد محصولات زراعی در ایران را با استفاده از تابع تولید Just & Pop (1979) بررسی و به این نتیجه رسیدند که بارندگی تأثیر مثبت و نوسان بارندگی تأثیرمنفی روی عملکرد گندم دارد. Alijani *et al.* (2011) به بررسی اثر دما و بارندگی بر عملکرد گندم آبی در ایران با روش تخمین کمینه مربعات تعمیم یافته (GLS) پرداختند. نتایج نشان داد متغیر بارندگی تأثیر مثبت و دما تأثیر منفی بر عملکرد گندم دارد و سهم رشد بارندگی و دما بر عملکرد گندم نیز به‌ترتیب ۳۱/۷- و ۱۱/۱- درصد است. Sabzi Parvar *et al.* (2012) با بررسی مطالعهٔ تأثیر شاخص‌های هواشناسی کشاورزی بر عملکرد گندم در همدان دریافتند که شاخص کمبود بارش گیاهی قوی‌ترین همبستگی را دارد و بارش‌های بهاره بیشتر از دیگر فصل‌ها بر عملکرد گندم تأثیرگذار بوده‌اند. Ghahremanzadeh *et al.* (2015) با هدف بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات گندم دیم و آبی و ذرت در استان قزوین با رهیافت تابع تولید تصادفی Just & Pop (1979) به این نتیجه رسیدند که با مدیریت ریسک می‌توان گامی مؤثر در جهت کاهش عملکرد گندم و ذرت داشت. Mosaedi *et al.* (2015) در مطالعه گندم و جو دیم در بجنورد، مشهد و بیرجند دریافتند که تنش خشکی در ٤ ماه منتهی به فروردین (بجنورد)، مهر و آبان (مشهد) و ۲ ماه منتهی به اسفند و خرداد (بیرجند) بیشترین تأثیر را داشت. همچنین تنش دمایی در ۹ ماه منتهی به خرداد (بجنورد)، ٦ ماه منتهی به خرداد (مشهد) و ٦ ماه منتهی به اسفند (بیرجند) بحرانی‌ترین بود. Farhadnia & Ghahremanzadeh (2015) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات گندم دیم و جو دیم در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل عمومی Just & Pop (1979) نشان دادند که افزایش در مقدار هر یک از این متغیرها عملکرد را افزایش می‌دهد و متغیرهایی ریسک کاهنده می‌باشند در حالی که سرعت باد اثر منفی بر عملکرد این محصول دارد یعنی افزایش در مقدار آن عملکرد را کاهش می‌دهد و متغیری ریسک افزا می‌باشد. Sadeghi Molaei (2017) ارتباط بین عملکرد و ریسک عملکرد محصولات گندم و جو دیم با متغیرهای اقلیمی به‌وسیله تابع تصادفی Just & Pop (1979) مورد بررسی قرار دادند نتایج آنان بیانگر آن است که متغیرهای بارش، میانگین بیشینه دما و رطوبت تأثیر مثبت و میانگین دما تأثیر منفی بر عملکرد هر دو محصول دارند. همچنین، متغیر سرعت باد اثر مثبت بر ریسک عملکرد هر دو محصول دارد.

Karimifard *et al.* (2018) با استفاده از داده‌های ترکیبی دوره ۱۳۷۲–۱۳۹۲ و مدل اثر ثابت، تأثیر متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) بر عملکرد گندم، برنج و جو در استان خوزستان نشان دادند که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد این محصولات شده است؛ به‌طوری که عملکرد گندم ۰/۵ درصد، برنج ۰/۳۲ درصد و جو ۰/۲۱ درصد کاهش یافته است. Rafiei *et al.* (2018) تأثیر متغیرهای اقلیمی (بارندگی و دما) و غیراقلیمی را بر عملکرد و ریسک تولید گندم دیم در شش شهرستان استان فارس بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارندگی رابطه مثبت و معناداری با عملکرد گندم دارد و حدود ۱/٦۱ درصد از تغییرپذیری عملکرد را تبیین می‌کند. Nasserzadeh *et al.* (2020) تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد برنج در شهرستان رشت را بررسی و مشاهده کردند که تغییر در الگوهای دمایی و بارشی به‌طور مستقیم و قابل‌اندازه‌گیری عملکرد برنج را تحت تأثیر قرار داده است. بر اساس تحلیل همبستگی اسپیرمن، دمای کمینه فروردین با ضریب همبستگی ۰/۳٤۸ بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد داشته است. Ensan *et al.* (2021) با شبیه‌سازی منت‌کارلو تأثیر تغییرات بارندگی و دما را بر عملکرد گندم دیم مشهد طی ۲٦ سال بررسی کردند. نتایج نشان داد در شرایط بدبینانه (کاهش باران، افزایش دما) عملکرد تا ٤۹/۲ درصد کاهش و ریسک تولید افزایش می‌یابد، اما در شرایط خوش‌بینانه (کاهش یخبندان) عملکرد تا ٤۰/۲ درصد بهبود می‌یابد. Sadeghi *et al.* (2022) در دورهٔ زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ نشان دادند که اثر مثبت بارش بر عملکرد گندم به‌ویژه در مناطق گرم و خشک مرکزی، شرقی، جنوب‌شرقی و جنوبی بود. همچنین، اثر افزایش دمای بیشینه در مناطق سرد کوهستانی مثبت و مناطق مرکزی و جنوب ایران به‌دلیل ایجاد تنش گرمایی در محصول گندم، منفی ارزیابی شد. Afshartabar et al (2023) تأثیر تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی آبی در شهرستان مرودشت را بررسی کردند. آنان دریافتند که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد محصولات پرآب‌بر مانند گوجه‌فرنگی، گندم و برنج و افزایش عملکرد محصولاتی مانند یونجه و جو می‌شود. Amani *et al.* (2024) تأثیر دو متغیر ریسک تغییر اقلیم و شاخص عملکرد تغییر اقلیم را بر ارزش افزوده بخش کشاورزی را برای ٥٤ کشور بررسی و گزارش کردند که هر دو شاخص تأثیر مثبت و معناداری بر ارزش افزوده بخش کشاورزی دارند.

در خارج از کشور نیز، Kokik *et al.* (2005)، اثرات درازمدت تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. آنان اصلاح مدیریت آبیاری، توسعه فناوری‌های نو و استفاده از رقم‌های مقاوم به خشکی را از جمله راهکارهای رویارویی با تغییرات طولانی‌مدت اقلیمی دانستند. Finger & schmid (2008) با به‌کارگیری یک مدل تلفیقی اقتصادی-زیست‌محیطی، تأثیر تغییر اقلیم بر تولید و قیمت ذرت و گندم زمستانه را در سوئیس بررسی کردند. نتایج حاکی از حساسیت قابل‌توجه عملکرد محصولات و تصمیمات کشاورزان به نوسانات اقلیمی و قیمت‌ها بود. Lhomme *et al.* (2009) تأثیر پتانسیل تغییر اقلیم بر گندم دوروم در دوره زمانی ۲۰۷۱–۲۰۰۲ در نواحی شمالی و مرکزی تانزانیا را ارزیابی کردند. نتایج گویای آن است که دما در هر دو ناحیه افزایش می‌یابد، میانگین بارندگی سالانه در مرکز افزایش و در شمال کاهش می‌یابد. کاشت گندم در هر دو ناحیه زودتر انجام شده و طول چرخه رشد گندم کاهش می‌یابد. Redsma *et al.* (2009)، در اروپا با استفاده از یک مدل فرایند محور، تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت نشان داد که برخلاف پیش‌بینی‌های مدل، عملکرد بالقوه با افزایش دما، رشد می‌کند و این اختلاف با در نظر گرفتن عوامل مدیریتی مانند آبیاری و سطح زیرکشت توضیح داده شد. نکته کلیدی، وابستگی نتایج به شرایط هر منطقه بود. Shuai *et al.* (2013)، به بررسی تأثیر اقتصادی تغییرپذیری‌های اقلیم بر عملکرد ذرت و سویا در چین و با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی داده‌های ترکیبی (سنجشی) مکانی پرداختند. نتایج نشان داد رابطه‌های غیرخطی و نامتقارن بین عملکرد ذرت و سویا و متغیرهای آب‌وهوایی وجود دارد و

بررسی شرایط اقلیمی به کاهش درآمدهای کشاورزان منجر شده است. Simalenga & Alema (2015) در جنوب آفریقا تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی دیم را شبیه‌سازی کردند. آنان دریافتند که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد محصولات اصلی مانند ذرت، سورگوم و آفتابگردان می‌شود و در برخی سناریوها این کاهش به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد. Gammans *et al.* (2017)، طی دوره ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ با رویکرد مدل‌سازی نشان دادند که تغییرات آب‌وهوایی موجب کاهش عملکرد گندم زمستانه در فرانسه خواهد شد. پیش‌بینی‌ها حاکی از کاهش ۳,۵ تا ۱۲,۹ درصدی عملکرد تا اواسط قرن و کاهش ۱٤/٦ تا ۱۷/۲ درصدی تولید تا پایان قرن بیست‌ویکم است. Xu et al (2019)، دما و بارندگی را عواملی مؤثر در تولید محصول ذرت عنوان داشتند. ایشان بیان کردند، اگرچه نحوه اثرگذاری این دو متغیر موجب افزایش عملکرد ذرت در لمبتون کانادا شده‌است، اما در دیگر منطقه‌های کانادا، تأثیر دما، منفی گزارش شده‌است.(2022) Emediegwu *et al.* در آفریقا نشان دادند که افزایش دما و کمبود فشار بخار آب، تأثیر منفی معناداری بر عملکرد ارزن مرواریدی دارد، در حالی که تعداد روزهای مرطوب اثر مثبت ایجاد می‌کند. همچنین تولید این محصول متأثر از عملکرد مناطق همسایه است و پیش‌بینی می‌شود با افزایش ۲/۳ درجه‌ای دما تا سال ۲۰۷۰، عملکرد تا ۲۰ درصد کاهش یابد. Ziaii *et al.* (2023) در استان کردستان نشان دادند که تغییر اقلیم، با وجود افزایش دما و کاهش بارش در برخی مناطق، به‌دلیل تأثیر ترکیبی افزایش غلظت CO_2 و وجود بارش کافی، موجب بهبود میانگین عملکرد گندم دیم (۱/۱۵ تن در هکتار) و افزایش قابل‌توجه بهره‌وری آب باران (به‌طور میانگین ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب) شده است. Sun *et al.* (2024)، با استفاده از الگوریتم‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در چین نشان داد که سهم عوامل آب‌وهوایی، خاک و مدیریت مزرعه در تولید گندم به‌ترتیب در بازه‌های ۱۹ تا ٤٤/۲ درصد، ۳۰/٤ تا ۳۵/۹ درصد و ۲۵/٤ تا ٤۵/۱ درصد متغیر است. عوامل آب‌وهوایی به‌ویژه دما، با تأثیر بر طول دوره رشد، نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید این محصول دارند. Gu *et al.* (2024) مطرح کردند که تغییر اقلیم به‌طور قابل‌توجهی الگوی جهانی کشت گندم را در آینده تحت تأثیر قرار خواهد داد. با پیش‌بینی بر پایه سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش کلی در تولید گندم در بلندمدت (۲۰۷۱–۲۱۰۰) مشاهده می‌شود: تحت سه سناریو به‌ترتیب درصد کاهش ۱٦، ۳ و ۳ پیش‌بینی شده است. Waongo *et al.* (2024) تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر تولید ذرت دیم در بورکینافاسو را بررسی و مشاهده کردند با افزایش دما و کاهش باران، به‌ویژه در مناطق جنوبی، میزان برداشت ذرت به‌طور قابل‌توجهی کم می‌شود. در بدترین سناریو، کاهش محصول در منطقه اصلی کشاورزی حتی به ٤۰ درصد هم می‌رسد که تهدید بزرگی برای امنیت غذایی منطقه است. Abebaw (2025) با بررسی نظام‌مند تأثیرات تغییرات و نوسانات اقلیمی بر بهره‌وری محصولات کشاورزی در اتیوپی، بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲٤ نشان داد که تغییر اقلیم منجر به کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی عملکرد محصولات اصلی مانند ذرت و گندم تا سال ۲۰۵۰ شده و امنیت غذایی و اقتصاد روستایی را به شدت تهدید می‌کند.

همان‌طوری که عنوان شد، امروزه نگرانی مهمی در مورد وقوع تغییر اقلیم به‌وسیله فعالیت‌های بشر به وجود آمده است، زیرا هر گونه تغییر در آب و هوا بر تولیدات کشاورزی نیز تأثیر خواهد گذاشت. از این رو تغییر اقلیم یکی از عوامل مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی در آینده خواهد بود. تغییر اقلیم علاوه‌بر عملکرد محصولات کشاورزی بر ریسک عملکرد محصولات نیز اثر می گذارد. در حالت کلی، تغییر شرایط آب و هوایی از جمله عوامل اصلی ریسک عملکرد در بخش کشاورزی تلقی می‌گردد. از این رو بررسی میزان اثرگذاری تغییر اقلیم بر ریسک و عملکرد محصولات کشاورزی از جمله استان کردستان حائز اهمیت خواهد بود تا میزان ریسک‌افزایی هریک از پارامترهای اقلیمی مشخص گردد و این همان هدفی است که این مطالعه به دنبال آن می‌باشد. با وجود مطالعات

پیشین، نوآوری تحقیق حاضر در بررسی همزمان پنج محصول استراتژیک با کشت آبی و دیم در یک منطقه همگن اقلیمی، برآورد توابع ریسک برای محصول نخود دیم که کمتر مورد توجه بوده و محاسبه کشش‌های متقاطع ریسک برای ارائه راهکارهای دقیق‌تر مدیریتی می‌باشد. از همین رو مسئله تأثیر تغییر اقلیم و تأثیر آن بر عملکرد و ریسک محصولات زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مواد و روش‌ها

جهت الگو سازی روابط بین عملکرد محصولات کشاورزی و ریسک عملکرد آن با پارامترهای اقلیمی می‌توان از رهیافت تابع تولید تصادفی Just & Pop (1979) بهره گرفت. ایده اساسی این روش تجزیه تابع عملکرد به یک جزء قطعی مرتبط با سطح عملکرد و یک جزء تصادفی مرتبط با واریانس عملکرد است. بدین ترتیب امکان بررسی آثار متغیرهای مستقل (مانند بارندگی، دما) بر هر دوی عملکرد و واریانس عملکرد را می‌توان به صورت رابطه ۱ نوشت (Alphonse *et al.*, 2010):

$$Y_{it} = f(X_{it}.\beta) + h^{\frac{1}{2}}(X_{it}.\alpha)e_{it} \quad (۱)$$

که در آن، y_{it} عملکرد محصول مورد نظر (مانند گندم و جو) در شهرستان iام در سال tام، X_{it} بردار متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی(بارندگی تجمعی در طول فصل رشد محصول) و دما (میانگین دما در طول دوره رشد) در شهرستان iام در سال tام، $f(X_{it}.\beta)$ یک تابع تولید میانگین مربوط به عملکرد و $h^{\frac{1}{2}}(X_{it}.\alpha)$ انحراف معیار عملکرد یا ریسک عملکرد،. α و β نیز پارامترهای نامعین هستند که باید برآورد شوند، e_{it} جمله اخلال رگرسیون با میانگین صفر و واریانس یک و t بیانگر سال $(t = 1.2. \dots . T)$ و i بیانگر شهرستان مورد نظر $(i = 1. 2 \dots . N)$ است.

با توجه به الگوی Just & Pop (1979) ارائه‌شده، در این مطالعه در اولین گام تابع عملکرد تصادفی محصول برآورد می‌گردد. بدین منظور عملکرد هر یک از محصولات زراعی منتخب (گندم و جو دیم و آبی و نخود دیم) بر روی متغیرهای اقلیمی (x_{it}) نظیر دما، بارندگی، رطوبت، تبخیر، سرعت باد و ضریب تغییرات این متغیرها در قالب یکی از فرم‌های تابعی خطی، درجه دوم خطی، کاب داگلاس یا ترانسندنتال تصریح گردد. برای انتخاب فرم تابعی مناسب، می توان علاوه بر معیارهای اقتصادسنجی مانند آزمون باکس- کاکس (فرم خطی در برابر لگاریتمی) و آزمون LR، از معقول بودن نتایج مدلهای برآوری مانند منطقی بودن مقادیر کششها به همراه دارا بودن بیشترین تعداد ضرایب معنادار از نظر آماری، استفاده نمود.

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum \beta_i x_{it} + \sum \sum \theta_{ij} x_i x_j + e_{it} \quad (۲)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \prod_j x_{jt}^{A_j} + e_{it} \quad (۳)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_j \beta_{1j} x_{jt} + \sum_j \beta_{2j} x_{jt}^2 + \sum_j \sum_{k(k\neq j)} \beta_{jk} x_{jt} x_{kt} + e_{it} \quad (۴)$$

$$lnY_{it} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_{it} lnx_{it} + \gamma_{it} x_{it} + e_{it} \quad (۵)$$

مرحله دوم شامل برآورد مؤلفه‌های واریانس تابع عملکرد تصادفی است. بعد از برآورد معادله عمکرد محصول براساس یکی از فرم‌های تابعی مناسب و بدست آوردن اجزای اخلال آن، تابع ریسک عملکرد را می‌توان به صورت $ln\sigma_i^2 = Z_i'\alpha$ به دست آورد. لازم به ذکر است که مقدار σ_i^2 شناخته‌شده نیست و بایستی تخمین گردد. بدین

منظور منظور می‌توان از اجزای اخلال $(\widehat{e_{it}})$ یکی از معادلات ۲ تا ۵ استفاده نمود و به شکل رابطه ٦ اثر فاکتورهای اقلیمی بر ریسک عملکرد را بررسی نمود:

$$ln\hat{e}_{it}{}^{2} = f(Z_{it}) + \varepsilon_{it} \qquad (٦)$$

که در آن، Z_{it} می‌تواند متفاوت از x_{it} ها باشد و این رابطه را با OLS می‌توان برآورد کرد.

در مرحله نهایی، بعد از برآورد معادله ٦ می‌توان تابع عملکرد محصول را به روش کمینه مربعات وزنی (WLS) جهت رفع مشکل ناهمسانی واریانس برآورد کرد، زیرا وجود معادله ٦ موید وجود ناهمسانی واریانس در توابع عملکرد می‌باشد که بایستی رفع گردد. البته برای معادله ٦ نیز علاوه بر فرم خطی می‌توان از درجه دوم خطی، کاب-داگلاس و ترانسندنتال بهره گرفت.

در مطالعه حاضر برای بررسی اثر متغیرهای آب و هوا بر عملکرد محصولات گندم و جو دیم و آبی و نخود دیم استان کردستان، ٦ شهرستان بیجار، سقز، قروه، دیواندره، کامیاران و سنندج به قطب‌های اصلی تولید این محصولات در نظر گرفته شد. لذا لازم است جهت برآورد توابع عملکرد و ریسک عملکرد (در مطالعه حاضر) از تکنیک‌های برآورد داده‌های پانلی[1] بهره گرفته شود. لازم به ذکر است که بخش مهمی از ادبیات داده‌های پانلی به تشخیص مدل اثرات ثابت یا تصادفی[2](نحوه لحاظ کردن ناهمگنی در مدل) اختصاص دارد که شکل ریاضی آن در معادلات ۷ و ۸ آمده است (Shahraki *et al.*, 2017).

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_i X_{it} + e_{it} \qquad (۷)$$

$$e_{it} = \mu_i + v_{it} \qquad (۸)$$

که در آن Y_{it}، x_{it} و e_{it} همان تعاریف قبلی خود را دارند. به‌طور کلی در صورتی که α_i برای تمام مقاطع، ثابت در نظر گرفته شود، روش OLS برآوردهای کارا و سازگاری از α و β ارائه خواهد داد. زیرا در این حالت فقط داده‌ها روی هم انباشته شده‌اند که اصطلاحاً به آن داده‌های تلفیقی یا پولینگ دیتا[3] گفته می‌شود. اما در صورتی که در بین مشاهدات بین شهرستان‌ها ناهمگنی یا تفاوتهای جغرافیایی وجود داشته باشد، باید از روشهای دیگری برای تخمین استفاده شود. برای بررسی این‌گونه مدلها، از روش پانل دیتا استفاده می‌شود که خود شامل روش اثرات ثابت و روش اثرات تصادفی است. در این حالت پارامترها برای تمام شهرستان‌ها یکسان بوده و اختلاف، یا در عرض از مبداء است یا در اجزای پسماند، که اولی به‌وسیله روش اثرات ثابت و دومی به‌وسیله روش اثرات تصادفی بیان می‌شود (Green, 2001).

برای انتخاب بین روش‌های پانل دیتا و روش تلفیق شده می‌توان از آزمون F لیمر و آزمون LM بروش-پاگان بهره گرفت. اگر مدل تلفیق شده در برابر مدل اثرات ثابت سنجیده شود از آماره F لیمر و اگر در برابر مدل اثرات تصادفی سنجیده شود از آزمون LM بروش پاگان بهره گرفته می‌شود. جهت سنجش مدل با داده‌های تلفیق شده

[1] Panel data
[2] Fixed effect and random effect
[3] Pooling data

در برابر مدل با اثرات ثابت می‌توان از یک آزمون از نوع چاو[1]بهره گرفت که فرضیات این آزمون به صورت رابطه ۹ است (Baltaji, 2005):

$$\begin{cases} H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_N = \alpha & Fixed\ Effect\ Model \\ H_1: \alpha_i \neq \alpha_j & Pooled\ Model \end{cases} \quad (۹)$$

جهت سنجش فرضیه رابطه ۹ می‌توان از آزمون F بر اساس مجموع مربعات خطای مدل مقید و مدل غیر مقید به صورت رابطه ۱۰ بهره گرفت:

$$F^*_{N-1.N(T-1)-K} = \frac{\frac{RRSS-URSS}{N-1}}{\frac{URSS}{NT-N-K}} \quad (۱۰)$$

که در آن K، تعداد متغیرهای توضیحی لحاظ شده در مدل، N، تعداد مقاطع (۵ شهرستان مورد نظر) و T دوره زمانی مورد بررسی و در نتیجه T.N، تعداد کل مشاهدات را نشان می‌دهد.

برای تعیین مدل اثر تصادفی در مقابل مدل با داده‌های تلفیق شده، از آزمون LM بروش پاگان[2]استفاده می شود که فرضیات این آزمون به صورت رابطه ۱۱ بود (Baltaji, 2005) و جهت سنجش آن از رابطه ۱۲ استفاده می‌شود.

$$\begin{cases} H_0: \sigma_\alpha^2 = 0 \rightarrow & Pool \\ H_1: \sigma_\alpha^2 > 0 \rightarrow & Random\ Effect \end{cases} \quad (۱۱)$$

$$LM = \frac{NT}{2(T-1)}\left[\frac{T^2 \sum e_{i0}^{-2}}{\sum\sum e_{it}^2}\right]^2 \approx \chi_1^2 \quad (۱۲)$$

فرضیه صفر مبنی بر آن است که اثرات تصادفی وجود ندارد. آماره LM دارای توزیع کای-دو با درجه آزادی یک می‌باشد. در این فرضیات، σ_α^2 نشان دهنده واریانس اثر مقطعی مدل برآورد شده از طریق اثر تصادفی است.

اگر بعد از انجام آزمون F و LM بروش-پاگان، فرضیه H_0 رد گردد، نتیجه گرفته می‌شود که داده‌ها دارای ماهیت پانل بوده و در آن صورت این پرسش مطرح می‌شود که مدل در قالب کدام یک از روشهای اثرات ثابت و اثرات تصادفی، قابل بررسی است. آزمون هاسمن[3]برای تعیین انتخاب درست یکی از دو روش اثرات تصادفی و ثابت به کار می‌رود. در آزمون هاسمن، فرضیه صفر دال بر کاراتر بودن مدل اثرات تصادفی است و آزمون هاسمن دارای توزیع χ^2 بوده و تعداد درجات آزادی آن برابر با تعداد متغیرهای توضیحی مدل است (Pishbahar, 2017).

آمار و اطلاعات مورد نیاز از داده‌های رسمی بانک اطلاعاتی سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان برای شهرستان‌های بیجار، سقز، قروه، دیواندره، کامیاران و سنندج طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۳ جمع آوری شده است. متغیرهای اقلیمی مانند مقدار بارندگی، کمینه و بیشینه درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت نسبی می‌باشد که از ایستگاه هواشناسی این شهرستان‌ها به صورت ماهانه تهیه شده است.

[1] Chow
[2] Breusch-Pagan LM test
[3] Hausman test

نتایج و بحث

برای تعیین فرم تابعی مناسب برای توابع عملکرد محصولات کشاورزی مورد بررسی فرم‌های تابعی خطی، خطی درجه دوم، کاب- داگلاس و ترانسندنتال برآورد گردید. بنا بر مطابقت و همخوانی داشتن با فروض جاست و پاپ، معناداری کل رگرسیون (F)، آزمون باکس-کاکس، تعداد پارامترهای معنادار و معقول بودن کشش‌های تولیدی، برای برآورد توابع عملکرد محصولات گندم دیم و آبی و جو آبی فرم خطی، برای جو دیم فرم درجه دوم و برای نخود دیم فرم ترانسندنتال مناسب تشخیص داده‌شد. سپس آزمون‌های مربوطه به انتخاب نوع تکنیک داده‌های پانلی برآورد داده‌ها بر روی فرم‌های تابعی یاد شده صورت گرفت که نتایج مربوطه در جدول ۱ آمده است. براساس جدول ۱، مقدار آماره F لیمر، آماره آزمون LM و بروش-پاگان برای تمامی محصولات در سطح احتمال ۱ درصد معنادار می‌باشد در نتیجه فرضیه صفر مبنی بر استفاده از مدل تلفیق شده رد می شود. مقادیر آماره هاسمن در تمامی محصولات کمتر از مقدار بحرانی جدول کای دو بوده و لذا فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن روش اثرات تصادفی رد نمی‌شود در نتیجه تمامی مدل‌ها برای این پنج محصول با استفاده از اثرات تصادفی برآورد گردید که نتایج مربوطه در جداول ۲ تا ٤ آمده است.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های انتخاب روش برآورد داده‌های پانل برای توابع عملکرد محصولات مورد نظر.

محصول	اثرات ثابت (آماره F لیمر)	اثرات تصادفی (آزمون LM بروش پاگان)	آزمون هاسمن
گندم آبی	۱۱/۰٦***	۷۲/٤۱***	۰/۱۵
گندم دیم	۱/۲٤**	٤۲/۸۸***	۲/٤۸
جو آبی	۸/٦۹***	۷۷/۵۸***	٦/۷۵
جو دیم	۳/۳۲***	۲۳۳/٤***	۷/۲۱
نخود دیم	۲/۹٤***	٦۰/۷٦***	٤/۱۸

***و **و * به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد

برای شناسایی وجود ناهمسانی واریانس در توابع عملکرد برآورد شده در جدول ۲، از آزمون بروش-پاگان استفاده گردید که مقدار آماره آزمون از لحاظ آماری معنادار بود. بنابراین الگو دارای ناهمسانی واریانس بوده و می‌توان تابع ریسک را برآورد نمود. در خصوص تابع ریسک نیز آزمون F لیمر و LM بروش-پاگان انجام شد که نتایج مؤید آن است که تنها تابع ریسک عملکرد محصول نخود دیم قابل برآورد به روش اثرات تصادفی است چهار محصول دیگر می‌بایستی به روش رگرسیون داده‌های تلفیقی برآورد گردد. لازم به ذکر است که آماره آزمون F لیمر برای محصول نخود مقدار آن برابر ۲/٥٤ بوده که فرضیه صفر(استفاده از رگرسیون تلفیقی) رد شد. آماره آزمون هاسمن برابر ۱۱/۷۱ بوده بیانگرآن است که فرضیه صفر مبنی بر روش اثرات تصادفی پذیرفته می‌شود. انتخاب روش اثرات تصادفی به لحاظ فنی به معنای در نظر گرفتن ناهمگنی و وابستگی شهرستان ها به صورت متغیرهای تصادفی ناشی از یک توزیع احتمال است، که امکان تعمیم نتایج فراتر از گروه‌های مشاهده شده به جامعه بالادست گروه‌ها فراهم می‌آورد. لازم به ذکر است که فرم تابعی مناسب برای توابع ریسک عملکرد محصولات مانند توابع عملکرد انجام شد و نتایج بیانگر آن ست که برای تابع ریسک عمدتا ریسک عملکرد گندم آبی به فرم درجه

دوم و مابقی محصولات فرم خطی مناسب می‌باشد. نتایج برآورد توابع عملکرد و ریسک عملکرد برای محصولات گندم دیم و آبی در جدول ۲ امده است.

جدول ۲- نتایج برآورد توابع عملکرد و ریسک عملکرد گندم آبی و دیم استان کردستان.

	محصول گندم آبی				محصول گندم دیم			
	تابع عملکرد		تابع ریسک		تابع عملکرد		تابع ریسک	
	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
روند زمانی	۰/۱۱۸۸***	٤/۷۲	۰/۰۳۵۹	۱/۵۳	۰/۰۱٤	۱/۲٦	–	–
بارش دوره رشد	۰/۰۳۲۹***	٤/۲۲	۰/۰۱٤۱*	۱/۷۹	۰۰۰***	۲/۹۸	-۰/۰۰۳٦*	-۱/۹٤
میانگین دمای دوره رشد	–	–	۰/۷۹۸۲	۰/٦۲۵			–	–
میانگین دمای کمینه دوره رشد	۰/۵٦۸۳**	۳/۳٦	–	–	۰/۰۳٤٤	۱/٤٤	-۰/۰۰۰۰۹	-۰/۰۰
میانگین دمای بیشینه دوره رشد	-۰/۲٦۲۷***	-۳/٦٦	–	–	۰/۳٦۵٤	-۱/۵۳	۷/۷۲***	۳/۰۵
میانگین سرعت باد دوره رشد	-۰/۰۹	-۰/۱۲	/۰۰۳۳**	۱/۹٤	۰۰۳۵*	-۱/۷۵	۰/۰۰٦۵***	۳/۲۰
میانگین رطوبت نسبی دوره رشد	۰/۲۱۵٦***	۳/۷۱	–	–	–	–	–	–
توان دوم بارش دوره رشد	–	–	-۶**	۱/۹٤	–	–	–	–
توان دوم میانگین دمای دوره رشد	–	–	۰/۰۰۱۸	۰/۹۸۲	–	–	–	–
توان دوم میانگین سرعت باد	–	–	-۸**	-۱/۹٤	–	–	–	–
بارندگی ×میانگین دمای کمینه	-۰/۰۰۰۷**	-۲/۰۱	–	–	–	–	–	–
بارندگی ×میانگین رطوبت نسبی	-۰/۰۰۰۵***	-۳/۷٤	–	–	–	–	–	–
بارندگی×میانگین دمای دوره رشد	–	–	/۰۰۱۹**	-۲/۳۳	–	–	–	–
میانگین دمای بیشینه×میانگین سرعت باد	–	–	–	–	۰/۰۰۰۰۹*	۱/۷۸	-۰/۰۰۰۳۵***	-۳/۱۳
عرض از مبدا	-۷/۳۸*	-۱/٦۹	-٤۲/۹۹**	-۲/۳۵	۷/۳٤	۱/٦۳	-۱٤۷/۰۸***	-۳/۱۵
$\overline{R}^2$	۰/۵۸		۰/۲۲۳٦		۰/۳۹۰۱		۰/۲۰۲٦	
	Wald=۱۰٦/۷۳***		F=۱/۸٤*		Wald =۲۵/۹۲***		F=٤/۷۲***	

***و **و * به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد

همان‌طور که از جدول ۲ نمایان است، بارش تجمعی طول دوره رشد، میانگین سرعت باد دوره رشد، اثر متقابل میانگین سرعت باد دوره رشد و میانگین بیشینه دمای دوره رشد اثر معناداری بر عملکرد گندم دیم دارند. بطوریکه متغیرهای بارش تجمعی دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد اثر مثبتی گندم دیم و متغیرهای میانگین سرعت باد دوره رشد و میانگین دمای بیشینه دوره رشد اثر منفی بر عملکرد دارند. این نتایج با نتایج پژوهش Hosseni *et al.* (2007) مطابقت دارد و آن‌ها نیز نتیجه گرفتند کاهش دما می‌تواند از طریق کاهش تعرق امکان حفظ آب برای دوره رشد بهاره و بهبود عملکرد فراهم نماید. همچنین میانگین سرعت باد باعث افزایش نیاز رطوبتی اتمسفر اطراف سایه‌انداز گیاه شده و با کاهش مقاومت لایه مرزی با تعرق شدید و اعمال تنش خشکی و کاهش عملکرد همراه است، یکی از اثرات عمده باد در در طی دوره پر شدن دانه در اواخر بهار چروکیده شدن و بادزدگی

دانه است. سرعت باد در بهار تأثیر منفی بر عملکرد دارد. همچنین ضریب بارندگی میانگین رطوبت نسبی منفی و معنادار است. این اثر متقابل منفی نشان می‌دهد که با افزایش همزمان بارش و رطوبت نسبی، عملکرد به‌طور بیش از اندازه کاهش می‌یابد که احتمالاً ناشی از افزایش بیماری‌های قارچی در شرایط مرطوب است. تحلیل نتایج تابع ریسک عملکرد گندم دیم نشان داد بارندگی تجمعی دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین سرعت باد و اثر متقابل میانگین سرعت باد و میانگین دمای بیشینه اثر معناداری بر ریسک گندم دیم دارند و میانگین دمای کمینه دوره رشد بر ریسک گندم دیم اثر معناداری ندارد. بارش تجمعی طول دوره رشد، میانگین دمای کمینه و بیشینه دوره رشد و میانگین رطوبت نسبی اثر معناداری بر عملکرد گندم آبی دارند. متغیرهای بارش تجمعی دوره رشد، میانگین دمای کمینه دوره رشد و میانگین رطوبت نسبی دوره رشد اثر مثبتی بر عملکرد گندم آبی دارند و متغیرهای میانگین سرعت باد دوره رشد، میانگین دمای بیشینه دوره رشد اثر منفی بر عملکرد دارند. این یافته با نتایج Karbasi & Ghaffari (2009) مطابقت دارد و آنان نیز نتیجه گرفتند که بارندگی اثر مثبت و درجه حرارت اثر منفی بر عملکرد گندم آبی دارد. Koocheki *et al.* (2015) نتیجه گرفتند افزایش درجه حرارت باعث کوتاهی دوره رشد گیاه شده و عملکرد محصول گندم را افزایش می‌دهد. تحلیل نتایج ریسک عملکرد گندم آبی نشان می‌دهد بارندگی دوره رشد، میانگین سرعت باد اثر معناداری بر ریسک گندم آبی دارند و میانگین دمای کمینه دوره رشد بر ریسک گندم آبی بی تأثیر می‌باشد.

مطابق جدول ۳ ملاحظه می گردد که پارامترهای بارندگی تجمعی دوره رشد، میانگین دمای دوره رشد و سرعت باد اثر معناداری بر عملکرد محصول نخود دیم در استان کردستان دارند. ضریب میانگین دمای دوره رشد مثبت است یعنی با افزایش دما عملکرد افزایش می‌یابد. این نتایج منطقی به نظر می‌رسد چرا که حجاز پور و سلطانی، (۱۳۹۲) در پژوهش خود نشان دادند افزایش چهار درجه دما موجب افزایش عملکردی نخود در شرایط دیم می‌شود. به‌دلیل اینکه افزایش درجه حرارت طول دوره رشد کاهش می‌یابد و افزایش دما موجب زود رس شدن گیاه می‌شود و زور رسی باعث می‌شود تا دوره گلدهی تا رسیدگی علاوه بر کوتاه شدن در بخش مرطوبتری از سال قرار گیرد. از طرف دیگر افزایش دما باعث افزایش عملکرد در شرایط دیم نخود می‌شود که قسمت عمده این افزایش ناشی از عدم برخورد گیاه با تنش خشکی آخر فصل به علت زود رس شدن گیاه است. تحلیل نتایج تابع ریسک عملکرد نخود دیم نشان می‌دهد میانگین دمای بیشینه و کمینه دوره رشد، میانگین رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد اثر معناداری بر ریسک نخود دیم دارند و بارندگی تجمعی دوره رشد بر ریسک نخود دیم بی تأثیر می‌باشد. براساس جدول ۳، پارامترهای بارندگی تجمعی دوره رشد، میانگین دمای کمینه و میانگین رطوبت نسبی اثر معناداری بر عملکرد محصول جو آبی در استان کردستان داشته و میانگین بیشینه دما و سرعت باد بر عملکرد جو آبی تأثیر معناداری ندارد. ملاحظه می‌شود که ضریب میانگین بیشینه دمای دوره رشد و میانگین سرعت باد دوره رشد منفی است که با افزایش دما میزان عملکرد کاهش خواهد یافت. نتایج تابع ریسک عملکرد جو آبی نشان می‌دهد که میزان بارندگی تجمعی دوره رشد، میانگین دمای بیشینه دوره رشد اثر معناداری بر ریسک جو آبی دارند و میانگین سرعت باد و میانگین کمینه دما بر ریسک جو آبی بی تأثیر می‌باشد.

همان‌طور که از جدول ٤ مشاهده می‌شود پارامترهای بارندگی تجمعی دوره رشد، میانگین دمای کمینه دوره رشد و میانگین دمای بیشینه دوره رشد، میانگین سرعت باد دوره رشد،توان دوم میانگین سرعت باد، اثر متقابل بارش تجمعی دوره رشد و میانگین بیشینه دما دوره رشد، اثر متقابل بارش تجمعی و میانگین رطوبت نسبی دوره رشد، میانگین بیشینه سرعت میانگین بیشینه دما و روند زمانی اثر معناداری بر عملکرد محصول جو دیم در استان

کردستان دارند. ملاحظه می‌شود که ضریب میانگین بیشینه دمای دوره رشد، میانگین سرعت باد دوره رشد و میانگین رطوبت نسبی منفی است که با افزایش آن‌ها میزان عملکرد کاهش خواهد یافت. تحلیل نتایج تابع ریسک عملکرد جو دیم نشان می‌دهد که میزان بارندگی تجمعی فصل بهار، میانگین سرعت باد بهار، میانگین دمای تابستان، میانگین دمای بهار اثر معناداری بر ریسک جو دیم دارند و بارندگی تجمعی تابستان و میانگین باد تابستان بر ریسک جو دیم بی تأثیر می‌باشد. سرعت باد در دوره رشد، میانگین رطوبت نسبی دوره رشد، میانگین دمای کمینه دوره رشد و بارندگی تجمعی دوره رشد به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر عملکرد جو آبی در استان کردستان داشته‌اند. کشش عملکرد جو آبی نسبت به میانگین دمای بیشینه دوره رشد منفی می‌باشد.

جدول ۳- نتایج برآورد توابع عملکرد و ریسک عملکرد نخود دیم و جو آبی استان کردستان.

	محصول نخود دیم				محصول جو آبی			
	تابع عملکرد		تابع ریسک		تابع عملکرد		تابع ریسک	
	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
روند زمانی	۰/۰۳۸۱**	۲/۰۷	–	–	۰/۱۱۸۸***	۵/۲۰	–	–
بارش دوره رشد	۰/۰۰۴۵**	۲/۱۴	۰/۰۰۲۳	۱/۵۳	/۰۳۶۳****	۴/۸۹	–	–
میانگین دمای دوره رشد	۱/۱۱۰۶**	۲/۸۸	–	–	–	–	–	–
میانگین دمای کمینه دوره رشد	–	–	-۱/۰۲۰۷**	-۲/۱۳	۱/۲۴۳۳***	۴/۶۷	–	–
میانگین دمای بیشینه دوره رشد	–	–	۰/۲۰۵۱*	۱/۸۳	-۰/۰۰۴۷	-۰/۰۹	–	–
میانگین سرعت باد دوره رشد	۰/۰۰۱۸**	۲/۳۶	-۰/۰۰۰۸۱*	-۲/۳۲	۰/۰۰۰۰۸۹	-۱/۶۱	–	–
میانگین رطوبت نسبی دوره رشد			-۰/۳۳۸۳*	-۱/۷۴	۰/۳۲۹۳***	۵/۵۰	–	–
لگاریتم بارش دوره رشد	-۰/۱۲۹۹	-۰/۶۰	–	–	–	–	-۱/۸۹*	-۱/۸۱
لگاریتم میانگین دمای دوره رشد	-۱۰/۲۳***	-۲/۷۱	–	–	–	–	–	–
لگاریتم میانگین دمای کمینه دوره رشد	–	–	–	–	–	–	۰۰۳۷*	-۰/۰۱
لگاریتم میانگین دمای بیشینه	–	–	–	–	–	–	۱۰/۰۸	۱/۶۸
لگاریتم میانگین سرعت باد دوره رشد	-۴۱/۴۹**	-۲/۴۰	–	–	–	–	۶/۷۲	۰/۹۶
توان دوم بارش دوره رشد			-۶	-۱/۴۴	–	–	–	–
توان دوم میانگین دمای کمینه			۰/۰۲۴۵*	۱/۶۸	–	–	–	–
توان دوم میانگین دمای بیشینه			-۰/۰۰۶۱*	-۱/۹۴	–	–	–	–
توان دوم میانگین رطوبت نسبی			۰/۰۰۲۶*	۱/۶۶	–	–	–	–
توان دوم میانگین سرعت باد	–	–	-۸**	۱/۶۶	–	–	–	–
بارندگی ×میانگین دمای کمینه	–	–	۰/۰۰۰۱۵۲	-۰/۸۰	۰/۰۰۱۹**	-۳/۱۵	–	–
میانگین دمای کمینه×میانگین رطوبت	–	–	۰/۰۱۷۰**	۲/۱۱	–	–	–	–
میانگین رطوبت نسبی×بارندگی تجمعی	–	–	–	–	۰/۰۰۵۲***	-۴/۱۹	–	–
ضریب تغییرات میانگین کمینه دما	–	–	۰/۰۰۱۸	۰/۹۳	–	–	–	–
ضریب تغییرات میانگین سرعت باد	–	–	۰/۴۹۸۵	۱/۵۹	–	–	–	–
عرض از مبدا	۳۷۳/۶۰۰**	۲/۳۹	۱۷/۰۶**	۲/۲۷	-۲۲/۷۸***	-۵/۰۴	۸۶/۷۸ –	–
$\overline{R}^2$	۰/۸۳		۰/۳۲۶۳		۰/۶۰۳۴		۰/۱۷۸۷	
	Wald=۲۵۳/۸***		Wald=۱۲/۸۰*		Wald=۷۷/۵۸***		F=۲/۹۹	

***و **و * به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد

جدول ۴- نتایج برآورد توابع عملکرد و ریسک عملکرد جو دیم استان کردستان.

	تابع عملکرد (خطی-درجه دوم)		تابع ریسک (کاب-داگلاس)	
	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
روند زمانی	۰/۰۲۰۷**	۲/۱۱	-۰/۲۰۸**	-۲/۳۲
بارش تجمعی دوره رشد	۰/۰۱۵۸***	۳/۱۶	-	-
میانگین دمای بیشینه دوره رشد	-۰/۵۶۸۵*	-۱/۷۳	-	-
میانگین دمای کمینه دوره رشد	۰/۲۷۳۳***	۲/۸۰	-	-
میانگین رطوبت نسبی دوره رشد	-۰/۱۲۹۹	-۰/۶۰	-	-
میانگین سرعت باد دوره رشد	-۰/۰۰۱۸**	-۲/۶۴	-	-
توان دوم بارش تجمعی دوره رشد	۳/۸۸×۱۰^-۷	۰/۲۰	-	-
توان دوم میانگین دمای کمینه دوره رشد	۰/۰۰۸۰	۰/۶۶	-	-
توان دوم میانگین دمای بیشینه دوره رشد	-۰/۰۰۶۱	-۱/۰۴	-	-
توان دوم میانگین رطوبت نسبی دوره	۰/۰۰۳۰	۱/۲۷	-	-
توان دوم میانگین سرعت باد	۰/۰۰۳۱**	۲/۲۵	-	-
بارندگی تجمعی×میانگین دمای کمینه	-۰/۰۰۰۳	-۱/۵۱	-	-
بارندگی تجمعی×میانگین دمای بیشینه	۰/۰۰۰۲۴**	۱/۹۲	-	-
بارندگی تجمعی×میانگین رطوبت نسبی	-۰/۰۰۰۳***	-۳/۱۵	-	-
میانگین دمای بیشینه×میانگین سرعت باد	۰/۰۰۰۳***	۲/۹۹	-	-
لگاریتم بارندگی تجمعی فصل بهار	-	-	-۰/۷۷۴۰*	-۱/۹۳
لگاریتم بارندگی تجمعی تابستان	-	-	-۰/۰۲۰۱	-۰/۰۸
لگاریتم میانگین سرعت باد بهار	-	-	۵/۵۹*	۱/۷۲
لگاریتم میانگین باد تابستان	-	-	۱/۲۸	۰/۹۵
لگاریتم میانگین دمای تابستان	-	-	۲۰/۴۷**	۲/۳۶
لگاریتم میانگین دمای بهار	-	-	-۴/۸۶*	-۱/۷۳
عرض از مبدا	۲/۱۴**	۲/۱۴	-۴۳/۱۲۷**	-۲/۴۱
$\overline{R}^2$	۰/۸۳		۰/۲۰۳۲	
معناداری رگرسیون	Wald chi۲(۱۶)=۲۵۳/۸***		F(۷و۴۰)=۱/۴۶	

***و **و * به‌ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد

همچنین کشش عملکرد جو آبی به میانگین رطوبت نسبی دوره رشد مثبت است. مقادیر ضرایب در تابع کاب داگلاس کشش عملکرد محصول را نسبت به هر متغیر نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر کشش‌ها می‌توان این چنین نتیجه‌گیری کرد میانگین دمای بیشینه دوره رشد، میانگین سرعت باد دوره رشد، بارندگی تجمعی دروه رشد و میانگین دمای

کمینه دوره رشد به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر ریسک عملکرد جو آبی در استان کردستان دارند. تأثیر متغیرهای بارندگی تجمعی دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد بر ریسک عملکرد منفی می‌باشد.

کشش‌های تابع عملکرد و ریسک عملکرد برای محصولات گندم آبی و دیم، جو آبی و دیم، نخود دیم در استان کردستان براساس توابع برآورد شده محاسبه گردید که نتایج مربوطه در جدول ۵ آمده است. براساس این جدول، متغیر بارندگی و میانگین دمای کمینه بر عملکرد محصولات اثر مثبت و در این میان بر محصول جو دیم بیشترین اثر را دارد. متغیرهای میانگین دمای بیشینه و میانگین سرعت باد اثر منفی بر عملکرد محصولات دارند و میانگین دمای بیشینه بر محصول جو آبی نسبت به سایر محصولات بیشترین اثر منفی را دارد. میانگین سرعت باد بیشترین اثر منفی را بر محصول جو دیم دارد. متغیر بارندگی و میانگین دمای کمینه بر ریسک محصولات اثر منفی دارد و در این بین متغیر بارندگی بر محصول جو آبی در مقایسه با سایر محصولات بیشترین تأثیر منفی را دارد. همچنین میانگین دمای کمینه بر نخود دیم بیشترین تأثیر را دارد و ریسک کاهنده می‌باشند. میانگین سرعت باد و میانگین دمای بیشینه دوره رشد نیز ریسک فزآینده بوده و میانگین دمای بیشینه دوره رشد بر محصول جو آبی بیشترین تأثیر را نسبت به سایر محصولات دارد. میانگین سرعت باد دوره رشد بر محصول جو آبی بیشترین تأثیر را داشته و موجب افزایس ریسک می‌شود.

جدول ۵- کشش‌های تابع عملکرد و ریسک عملکرد گندم آبی و دیم، جو آبی و دیم، نخود دیم در استان کردستان.

متغیرها/محصول	گندم آبی		گندم دیم		جو آبی		جو دیم		نخود دیم	
	عملکرد	ریسک	عملکرد	ریسک	عملکرد	ریسک	عملکرد	ریسک	عملکرد	ریسک
بارندگی دوره رشد	۰/۳۷۸	-۰/٦٤	۰/۲۳٦	-۰/۳۰۸۰	۰/۰٦۷	-۱/۸۹	۰/۷۹۸۰	-	۰/۵۳	-۰/۸٤
میانگین دمای کمینه دوره رشد	۰/۳۷٤	-	۰/۱٤۱	$-۹/۲\times۱۰^{-۵}$	۰/۷۵	-۰/۰۰۳	۰/۷۹۱۳	-	-	-۰/٤٦
میانگین دمای دوره رشد	-	۳/۲۸	-	-	-	-	-	-	۰/٤۷	-
میانگین دمای بیشینه دوره رشد	-۱/٤۵	-	-۲/٤۹	۰/۵۷	-٦/۱۷	۱۰/۰۸	-۰/۸۷۷	-	-	۰/۹۹
میانگین رطوبت نسبی دوره رشد	۰/٤۰۸	-	-	-	۲/۲۳	-	۳/۹۰	-	-	-۰/٦٦
میانگین سرعت باد دوره رشد	-۰/۰٦۱	۰/۳٤۳	-۲/٤۱	۰/۷۱	-۵/۹۰	٦/۷۲	-۲٦/۹۰	-	-۲/۹۳	٤/۹۰
بارندگی فصل بهار	-	-	-	-	-	-	-	-۰/۷۷٤	-	-
بارندگی تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-۰/۰۲۰	-	-
میانگین سرعت باد بهار	-	-	-	-	-	-	-	۵/۵۹	-	-
میانگین سرعت باد تابستان	-	-	-	-	-	-	-	۱/۲۸	-	-
میانگین دمای تابستان	-	-	-	-	-	-	-	-۲۰/٤۷	-	-
میانگین دمای بهار	-	-	-	-	-	-	-	-٤/۸٦	-	-

با تحلیل مقادیر محاسبه شده این چنین می‌توان گفت که متغیرهای میانگین سرعت باد در دوره رشد، میانگین دمای بیشینه دوره رشد، بارندگی تجمعی دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم در استان کردستان داشته‌اند. کشش عملکرد گندم دیم نسبت به میانگین سرعت باد دوره رشد منفی می‌باشد و عملکرد گندم دیم را کاهش می‌دهد. همچنین کشش عملکرد گندم دیم به بارش تجمعی دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد مثبت است. این نتایج با نتایج سایر محققین مطابقت داشت. Koocheki *et al.* (2015) عامل اصلی کاهش عملکرد گندم دیم در کشور را افزایش درجه حرارت در زمان تشکیل خوشه چه و رسیدن گندم معرفی می‌کند. برای جو آبی، کشش ریسک نسبت به بارندگی ۱/۸۹- است. یعنی افزایش ۱۰ درصدی بارندگی، ریسک عملکرد را ۱۸/۹ درصد کاهش می‌دهد. براساس کشش‌های محاسبه شده می‌توان نتیجه گرفت که میانگین سرعت باد، میانگین دمای بیشینه دوره رشد، بارش دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد بیشترین تأثیر را بر ریسک عملکرد گندم دیم در استان کردستان دارند. تأثیر متغیرهای بارندگی تجمعی دوره رشد و میانگین دمای کمینه دوره رشد بر ریسک عملکرد منفی می‌باشد. قابل ذکر است که برخلاف مطالعه Shahraki *et al.* (2017) (2017) که کاهش عملکرد جو در خوزستان را گزارش کردند، در مطالعه حاضر جو آبی کردستان کشش منفی شدیدی نسبت به دمای بیشینه نشان داد (٦/١٧-) که حاکی از حساسیت بسیار بالای این محصول در مناطق سردسیر به تنش گرمایی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مطالعه به وضوح نشان داد که تغییر اقلیم اثرات متمایز و معناداری بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات زراعی استان کردستان دارد. مهم‌ترین یافته، شناسایی جو (به ویژه نوع آبی) به‌عنوان حساسترین محصول به تغییرات دمای بیشینه و سرعت باد و در مقابل، گندم به‌عنوان محصولی با ریسک‌پذیری کمتر بود. از این رو بررسی میزان اثرگذاری تغییر اقلیم بر ریسک و عملکرد محصولات کشاورزی با براورد توابع عملکرد و ریسک عملکرد گندم و جو آبی و دیم و نخود دیم در استان کردستان به روش پانل دیتا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزایش بارندگی بیشترین اثر را در کاهش ریسک عملکرد محصولات به‌ترتیب در جو آبی، نخود، گندم آبی و گندم دیم دارد به عبارت دیگر یک عامل ریسک کاهنده است که منجر به افزایش عملکرد محصولات می‌شود. همچنین متغیر سرعت باد در دوره رشد بیشترین ریسک افزایی عملکرد را در محصول جو آبی، نخود دیم، گندم دیم و گندم آبی دارا است. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات بارندگی به‌ترتیب بر محصول جو آبی، جو دیم، نخود دیم، گندم دیم و گندم آبی اثرات بیشتری در تغییرات ریسک عملکرد محصول دارد. مطابق کشش‌های عملکرد محاسبه شده می‌توان عنوان نمود که بارندگی بر روی عملکرد محصولات به‌ترتیب در جو دیم، نخود دیم، گندم آبی، گندم دیم و جو آبی بیشتر می‌باشد. همچنین تأثیر دمای بیشینه بر کاهش عملکرد جو آبی بیشتر از جو دیم بیشترین کاربرد را دارد. از طرف دیگر تأثیر دمای کمینه دوره رشد برای عملکرد محصول جو دیم بیشتر از محصول جو آبی، گندم آبی و گندم دیم بوده است. براساس نتایج حاصل در خصوص فاکتورهای اقلیمی اثر گذار بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و نخود دیم در استان کردستان می‌توان گفت که اثر تغییر فاکتور اقلیمی در استان کردستان برای محصول جو آبی بیشتر از سایر محصولات می‌باشد.

به‌طور کلی کشش‌های ریسک عملکرد گندم آبی در برابر جو آبی کمتر است، لذا نتیجه گرفته می‌شود که در تغییرات فاکتورهای آب و هوایی اثر کمتری بر ریسک عملکرد گندم نسبت به محصول جو دارد، لذا توصیه می‌شود که در استان کردستان به لحاظ مدیریت ریسک اقلیم، کشت محصول گندم بیشتر از جو مدنظر قرار گیرد تا کشاورزان از تغییر اقلیم کمتر خسارت ببینند. با توجه به اثر سرعت باد در عملکرد و ریسک عملکرد محصولات پیشنهاد می‌شود از رقم‌های مقاوم زراعی در جهت کاهش عوامل غیر قابل کنترل بیشتر بهره گرفته شود تا بتوان گامی مؤثر در کاهش ریسک عملکرد محصولات سازگار با این پدیده برداشت. همچنین توصیه می‌شود که ترویج کشت رقم‌های گندم متحمل به خشکی انتهای فصل به جای جو در مناطقی با سرعت باد بیش از پنج متر بر ثانیه، طراحی مکانیسم بیمه محصولات کشاورزی بر مبنای شاخص اقلیمی (مثلاً بارندگی و سرعت باد) به جای بیمه مبتنی بر عملکرد و سرمایه‌گذاری برای احداث بادشکن‌های زنده (کاشت درختان سریع‌الرشد) در امتداد مزارع جو دیم صورت گیرد. نتایج بدست آمده برای محصولات گندم دیم و آبی، جو دیم و آبی، نخود دیم نشان داد که متغیر اقلیمی سرعت باد یک نهاده ریسک افزا محسوب می‌شود که منجر به کاهش عملکرد می‌شود، بنابراین توصیه می‌شود از باد شکن‌های طبیعی در منطقه استفاده گردد. در مورد محصولات دیمی نیز می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی اثرات تغییر اقلیم بر روی محصول جو دیم بیشتر از نخود دیم و گندم دیم می‌باشد، لذا توصیه می‌شود در صورتی‌که امکانات فنی اجازه دهد اقداماتی از سوی سازمان جهاد کشاورزی اتخاذ گردد که در الگوی کشت منطقه کشت محصول گندم دیم بیشتر و جو دیم کمتر مد نظر قرار گیرد.

شفاف‌سازی استفاده از هوش مصنوعی

در مراحل مختلف این پژوهش اعم از ایده‌پردازی، طراحی، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، نگارش متن و ویرایش یا ترجمه از ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نشده است.

منابع مورد استفاده

References

Abebaw, S.E. (2025). A global review of the impacts of climate change and variability on agricultural productivity and farmers' adaptation strategies. *Food Science & Nutrition*, 13 e70260. https://doi.org/10.1002/fsn3.70260

Afshartabar, R., Mortazavi, S.A., & Khalilian, S. (2023). Evaluation of climate change impacts on the production of agricultural products in Marvdasht city. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(1), 42-55. (in Persian with English abstract) https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1402.17.1.4.8

Alemaw, B. and Simalenga, T. (2015). Climate change impacts and adaptation in rainfed farming systems: A modeling framework for scaling-out climate smart agriculture in Sub-Saharan Africa. *American Journal of Climate Change*, 4, 313-329. http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2015.44025

Alijani, F. Karbasi, A. and Mafdari Masan, M. (2011). Investigating the effect of temperature and precipitation on irrigated wheat yield in Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 19(76), 76-90. (in Persian with English abstract).

Amani, R., Ghorbani, Z., & Mozaffari, Z. (2024). The impact of climate change risk and climate change performance index on agricultural sector value added: A quantile panel regression approach. *Quarterly Journal of Economic Research* (*Sustainable Growth and*

Development), 24(3), 3-30. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22034/24.3.1

Baltagi, B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data*. Wiley. & Sons Inc. 3th edition, New York, USA.

Bibi, F., & Rahman, A. (2023). An overview of climate change impacts on agriculture and their mitigation strategies. *Agriculture*, 13(8), 1508. https://doi.org/10.3390/agriculture13081508

Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., Hayes, K., Reid, C. E., Saha, S., Spector, J., & Berry, P. (2021). Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. *Annual Review of Public Health*, 42, 293–315. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026

Emediegwu, L. E., Wossink, A., & Hall, A. (2022). The impacts of climate change on agriculture in sub-Saharan Africa: A spatial panel data approach. *World Development*, 158, 105967. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105967

Ensan, E., Salami, H., Saleh, I., & Peykani M., G. R. (2021). Investigating the effect of two important climatic variables on yield and production risk of dry-land wheat using moment-based models. *Agricultural Economics*, 14(2), 53-80. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.2204/iaes.2020.136417.1788

Farhadnia, E., & Ghahremanzadeh, M., (2015). Investigating the effects of climate change on yield and yield risk of rainfed wheat and barley in East Azerbaijan province, *International conference on development with an agricultural. Environmental and Tourism Focus*, Tabriz, (in Persian with English abstract) https://civilica.com/doc/468609

Finger, R. & Schmid, S. (2008). Modeling agricultural production risk and the adaptation to climate change. *Journsl of Agricultural Finance Review*, 12, 25- 41. https://doi.org/10.1108/00214660880001217

Greene, W.H. (2003). *Econometric analysis*, 5th edition, New York University, U.S.

Gammans, M., Mérel, P., & Ortiz-Bobea, A. (2017). Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*, 12(5), 054007. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6b0c

Ghahremanzadeh, M., Golbaz, M., Hayati, B., & Dashti, G. (2015). The effect of climatic variables on yield and yield risk of wheat and maize in Qazvin Province. *Agricultural Economics*, 8(4), 655-676. (in Persian with English abstract)

Guo, X., Zhang, P., & Yue, Y. (2024). Prediction of global wheat cultivation distribution under climate change and socioeconomic development. *Science of The Total Environment*, 919, 170481. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170481

Hosini S. M. T., Seyed M. A., Fathi P., and Seyed M. M. (2007). Application of artificial neural networks and multivariate regression in estimating rainfed wheat yield in Qorveh region, Kurdistan province. *Agricultural Research: Water, Soil and Plant in Agriculture*, 7(1), 41-54. (in Persian with English abstract)

Houshyar, S., Dehbashi, V., Mohammadi, H., Esmahilpormogadam, H., Sargazi, A. & Keikha, A. (2025). The effect of climate change on the economy of Iran's agricultural sector. *Management of Natural Ecosystems*, 3(4), 40-49. https://doi.org/10.22034/emj.2025.722981

Jalali Monfared, A. O. S., & Aptin, R. (2025). The impact of global warming and climate change on agriculture and food security of the world and Iran. *American Journal of Agriculture and Food Research*, 10(2), 38-45. https://doi.org/10.11648/j.ajere.20251002.11

Jaylen Keniah. (2023). Global warming: A comprehensive examination. *International Journal of Science and Society*, 5(4), 135-145. https://doi.org/10.54783/ijsoc.v5i4.771

Just, R. E. & Pope, R. D. (1979). Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 61(2). https://doi.org/276–284.doi:10.2307/1239732

Karbasi, A. & Ghaffari, Z. (2009). The impact of climate change on crop yield. *Sixth International Conference on Agricultural Economics*. Pp. 45-60. (in Persian with English abstract)

Karimifard, S., Moghaddasi, R., Yazdani, S., & Mohammadi Nejad, A. (2018). Investigating the impact of climatic variables on the yield of agricultural crops in Iran (Case study: Khuzestan province). *Journal of Agricultural Economics*, 12(1), 91-109. (in Persian with English abstract)

Kokic, P. Heaney, A. Pechey, L. Crimp, S. & Fisher, B. (2005). Predicting the impacts on agriculture: a case study Australian commodities. *Journal of Climate Change*, 12, 123-140.

Koocheki, A., Nasiri mahalati, M. & Jafari, L. (2015). Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 651-664. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.51156

Lal, R. (2021). Climate change and agriculture, Chapter 31. *In:* Letcher, T. M. *Climate Change and Soil Interactions.* Third Edition, Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00031-1

Lhomme, J.P. Mougou, R. & Mansour, M. (2009). Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Journal of Climatic Change*, 3, 35 48. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9571-9

Ministry of Agriculture Jihad. (2024). Agricultural Yearbook for the Crop, 2023-2024. Office of Statistics and Information Technology, Deputy of Planning and Economy, Tehran, Iran. (In Persian)

Mosaedi, A., Mohammadi Moghaddam, S. & Ghabaei Souq, M. (2015). Modeling rainfed wheat and barley yield based on drought indices and meteorological variables. *Journal of Water and Soil*, 29(3), 730-749. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.36894

Nasserzadeh, M. H., Alijani, B. & Paydari M. (2020). The Effect of Climate Change on the Yield of Rice in the Rasht County. *Journal of Water and Soil Science*, 24 (2), 41-54. https://doi.org/10.47176/jwss.24.2.39601 (in Persian with English abstract)

Pishbahar, A. (2018). *Econometrics (with applications of econometrics specialized software)*. Noore Elm Publication, Tehran, Iran.

Rafiei, Z., Mousavi, S. H., & Khalilian, S. (2018). Analysis of the relationship between climate variability, yield, and production risk of agricultural crops: A case study of rain-fed wheat in Fars province. *Journal of Agricultural Economics*, 13(1), 81-108. (in Persian with English abstract)

Redsma, P. Ewert, F. Boogaard, H. & Diepen, K. (2009). Economic impacts of climate variability and subsidies on Eropean agriculture and observed adaptation strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14 (1), 35-59. https://doi.org/10.1007/s11027-008-9149-2

Rossati, A. (2017). Global warming and its health impact. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 8(1), 7–20. https://doi.org/10.15171/ijoem.2017.963

Sabzi Parvar, A. Torkaman, M. & Maryanji, Z. (2012). Investigating the effect of meteorological indices and variables on optimal wheat yield (Case Study: Hamadan Province). *Journal of Water and Soil*, 26(6), 48-63. (in Persian with English abstract).

Sadeghi, H., Mohammadi, H., Shamsipour, A., Zarei, K., & Karimi, M. (2022). The spatial relationship of climatic variables with rainfed wheat yield in Iran. *Journal of Geography and Development*, 20 (68), 184-214. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22111/gdij10.22111.2022.7008

Sadeghi, M. & Molaei, M. (2017). Investigating the effect of climate change on yield and yield risk of Two rainfed wheat and barley crops in East Azarbaijan Province. *Seventh National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*, Tehran. (in Persian) https://civilica.com/doc/636157

Shahraki, J., Sabouhi, M. & Yaqubi, M. (2017). The impacts of climate change on wheat production: A stochastic production function approach. *Journal of Natural Environmental Hazards*, l.06 (11), 69-84. (in Persian with English abstract)

Shuai, C. Chen, X. & Xo, J. (2013). Impacts of climate change on corn and soybean yields in china. Pp. 120-145. In: *Agricultural and Applied Economics Association and CAES joint Annual Meeting*, Washington, DC. USA.

Sun, H., Wang, Y., & Wang, L. (2024). Impact of climate change on wheat production in China. *European Journal of Agronomy*, 153, 127066. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127066

Waongo, M., Laux, P., Coulibaly, A., Sy, S., & Kunstmann, H. (2024). Assessing the impacts of climate change on rainfed maize production in burkina faso, West Africa. *Atmosphere*, 15(12), 1438. https://doi.org/10.3390/atmos15121438

Xu, Q., Sarker, R., Fox, G., & McKenney, D. (2019). Effects of climatic and economic factors on corn and soybean yields in ontario: A county level analysis. *International Journal of Food and Agricultural Economics*, 7, 1-17.

Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C. B., Zhu, Y.-G., Burney, J., D'Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, J. C., Rulli, M. C., Sloot, L., van Groeningen, K. J., West, P. C., Ziska, L., Michalak, A. M., Clim-Ag Team, & Lobell, D. B. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. Scince, 385, 6713. https://doi.org/10.1126/science.adn3747

Ziaii, G., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N., Tafteh, A., & Eftekhari, K. (2023). Spatial evaluation of yield and rainwater productivity index in rainfed wheat using AquaCrop-GIS model (case study: Kurdistan province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 17(3), 465–477. (in Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1402.17.3.5.3