University of Tehran Press

Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research

Online ISSN: 2008-4838

Homepage: http://ijaedr.ut.ac.ir/

Economic Analysis of Cropping Date Adjustment Strategy for Climate Change Adaptation in Agriculture

Vahid Kalantar [1], Seyed Habibollah Mosavi [2] ✉, Hamed Najafi Alamdarlo[3] and Seyed Farhad Saberali [4]

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: vahid.kalnatr@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: shamosavi@modares.ac.ir
3. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: hamed_najafi@modares.ac.ir
4. Department of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: saberali@modares.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 17 March 2025

Revised: 30 August 2025

Accepted: 14 September 2025

Published online: Spring 2026

Keywords:

Cropping Date, Climate Change, Adaptation, Profitability, Hamaden-Bahar Plain.

ABSTRACT

Climate change, as one of the major challenges of the present century, has imposed adverse impacts on the agricultural sector, particularly in arid and semi-arid regions. This study aimed to evaluate the effectiveness of altering planting dates as an adaptation strategy to climate change, through analyzing future climate change patterns in the Hamadan–Bahar plain. Initially, climate changes were projected for the future period (2026–2050). Subsequently, crop yields under future climate conditions were simulated using the AquaCrop model for both baseline and proposed planting dates. Finally, the economic dimension of the issue was assessed using a Positive Mathematical Programming model. The results of this study indicated that adjusting planting dates can play an effective role in adapting to future climatic conditions. According to the projections, the future climate will be characterized by decreased precipitation and increased temperatures, which would lead to reduced yields of water-intensive crops. However, modifying the planting calendar, by better synchronizing crop growth stages with optimal climatic periods, can improve growth conditions and consequently enhance crop yields. The economic analysis showed that changing planting dates can increase agricultural profitability and compensate for a portion of the economic losses caused by climate change. These findings highlight the significance of altering planting dates as an effective adaptation strategy in the agricultural sector, and can serve as a useful guide for policymakers and farmers to mitigate the negative impacts of climate change and promote the sustainability of agricultural production.

Cite this article: Kalantar, V., Mosavi, S. H., Najafi Alamdarlo, H. & Saberali, S. F.. (2026). Economic Analysis of Cropping Date Adjustment Strategy for Climate Change Adaptation in Agriculture. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 57-2 (1), 171-196. DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.392275.669367

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.392275.669367

Extended Abstract

Introduction

Climate change poses a significant threat to agricultural sustainability, particularly in arid and semi-arid regions such as the Hamadan-Bahar plain in Iran. This study investigates the potential of cropping date adjustment as a critical adaptation strategy to mitigate the adverse effects of climate change on crop yields and agricultural profitability. By analyzing future climate change scenarios and their impacts on water-intensive crops, this research aims to provide insights into the effectiveness of this adaptation measure in enhancing agricultural resilience.

Method

This research was conducted in three distinct phases. First, future climate change projections for the Hamadan-Bahar plain were generated under two scenarios: an optimistic scenario and a pessimistic scenario. The resulting climate data, encompassing changes in precipitation and temperature, were then used as inputs for agricultural simulation models. These models were employed to simulate crop yields under various cropping date adjustments. Finally, the simulated crop yields were incorporated into an enhanced regional economic model, based on Positive Mathematical Programming (PMP), to assess the economic impacts of cropping date adjustments during the future period.

Results

The climate change projections revealed a decreasing trend in precipitation and an increasing trend in temperature for the study region. Under the baseline cropping date scenario, crop yields were projected to decline. However, the implementation of adjusted cropping dates resulted in a substantial improvement in crop yields. Furthermore, the cultivated areas of key crops, including wheat, potato, forage maize, and sugar beet, increased under the adjusted cropping date scenarios. Consequently, the net profit of the agricultural sector in the region demonstrated a significant improvement.

Conclusions

The findings of this study highlight the effectiveness of cropping date adjustment as a viable adaptation strategy to climate change in arid and semi-arid agricultural regions. This approach, in conjunction with other adaptation measures, can contribute to enhancing agricultural sustainability and mitigating the negative impacts of climate change. The results of this study can be used as a guide for policymakers and farmers to reduce the negative impacts of climate change and increase the stability of agricultural productions.

Data Availability Statement

The data generated and analyzed during this study are available upon reasonable request from the corresponding

Ethical considerations

This research did not involve human or animal subjects. Therefore, no specific ethical approvals were required.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۲- ۵۷، شماره ۱

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۵X-۲۴۲۳

Homepage: http://ijaedr.ut.ac.ir/

تحلیل اقتصادی راهبرد تغییر تاریخ کشت به‌منظور سازگاری با چالش‌های تغییر اقلیم در کشاورزی

وحید کلانتر [۱] | سید حبیب الله موسوی [۲] ✉ | حامد نجفی علمدار لو [۳] | سید فرهاد صابر علی [۴]

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: vahid.kalnatr@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: shamosavi@modares.ac.ir

۳. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: hamed_najafi@modares.ac.ir

۴. گروه زراعت دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: saberali@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:

تاریخ کشت، تغییرات اقلیمی، سازگاری، سودآوری، دشت همدان-بهار.

چکیده

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی قرن حاضر، آثار نامطلوبی بر بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک برجای گذاشته است. در این مطالعه، باهدف ارزیابی کارایی تغییر تاریخ کشت به‌عنوان روشی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی، الگوهای تغییرات آب‌وهوایی آینده دشت همدان-بهار مورد تحلیل قرار گرفت. ابتدا تغییرات اقلیم برای دوره آتی (۲۰۲۶-۲۰۵۰) پیش‌نگری شد. در گام بعد، عملکرد محصولات تحت شرایط اقلیمی آینده و در دو وضعیت تاریخ کشت پایه و پیشنهادی با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. در نهایت، بُعد اقتصادی موضوع با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که راهبرد تغییر تاریخ کشت می‌تواند نقش موثری در سازگاری با شرایط اقلیمی آینده ایفا کند. بر اساس پیش‌نگری‌ها، اقلیم آینده با کاهش بارندگی و افزایش دما همراه خواهد بود که این شرایط منجر به افت عملکرد محصولات زراعی آب‌بر می‌شود. بااین‌حال، اعمال تغییر در زمان کاشت، از طریق هم‌زمان‌سازی بهتر مراحل رشد گیاه با دوره‌های بهینه اقلیمی، موجب بهبود شرایط رشدی و در نتیجه افزایش عملکرد برای این محصولات را به همراه داشته است. تحلیل اقتصادی حاکی از آن است که تغییر تاریخ کشت می‌تواند سودآوری بخش کشاورزی را افزایش دهد و بخشی از خسارات اقتصادی ناشی از تغییرات اقلیمی را جبران نماید. این یافته‌ها اهمیت تغییر تاریخ کشت به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای سازگاری با تغییرات اقلیمی در بخش کشاورزی را برجسته می‌سازد و می‌تواند راهنمای مفیدی برای سیاست‌گذاران و کشاورزان در راستای کاهش آثار منفی تغییرات اقلیمی و افزایش پایداری تولیدات کشاورزی باشد.

استناد: کلانتر، وحید؛ موسوی، سیدحبیب الله؛ نجفی علمدارلو، حامد و صابرعلی، سیدفرهاد (۱۴۰۵). تحلیل اقتصادی راهبرد تغییر تاریخ کشت به‌منظور سازگاری با چالش‌های تغییر اقلیم در کشاورزی. *مجلهٔ تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲-۵۷ (۱)، ۱۹۶-۱۷۱ . DOI : https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.392275.669367

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.392275.669367

مقدمه

تغییر اقلیم، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر است که به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های انسانی، کره زمین را با افزایش دما، تغییر الگوهای بارندگی، افزایش سطح آب دریاها و وقوع رویدادهای شدید آب‌وهوایی مواجه کرده است. با توجه به تغییرات بی‌سابقه اقلیمی و افزایش شدت رویدادهای اقلیمی شدید، بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از حساس‌ترین بخش‌ها به این تغییرات، نیازمند اتخاذ راهکارهای سازگاری است (Sivakumar, 2021; Abbass et al. , 2022; Raihan, 2023). در پاسخ به این چالش جهانی، سازگاری با تغییر اقلیم به‌عنوان راهبردی کلیدی مطرح می‌شود که هدف آن کاهش آسیب‌پذیری جوامع در برابر آثار نامطلوب تغییر اقلیم و افزایش تاب‌آوری آن‌ها در برابر این تغییرات است. برای سازگاری با این شرایط، اقدامات مختلفی ازجمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (Eskander & Fankhauser, 2020)، توسعه زیرساخت‌های مقاوم در برابر بلایای طبیعی (Kumar et al. , 2021)، بهبود مدیریت منابع آب (Lee et al. , 2022)، افزایش پوشش گیاهی (Sun et al. , 2022)، ارتقای آگاهی عمومی (Sharifi, 2021) و حمایت از تحقیقات در زمینه تغییر اقلیم (Masson-Delmotte et al. , 2021) ضروری است. در میان راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی مدیریت منابع آب از جایگاه برجسته‌تری برخوردار است زیرا نه‌تنها مستقیماً با بهره‌وری آب و حفظ عملکرد محصولات کشاورزی در ارتباط است، بلکه زمینه‌ساز پایداری سایر روش‌های سازگاری ازجمله اصلاح الگوی کشت (Shabanzadeh-Khoshrody et al. , 2023)، تغییر تاریخ کاشت (Khan et al. , 2025) و استفاده از ارقام مقاوم (Rosero et al. , 2020) نیز محسوب می‌شود. درواقع، موفقیت راهبردهای مذکور تا حد زیادی به میزان دسترسی و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی وابسته است. مدیریت تلفیقی منابع آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز، ضمن افزایش تاب‌آوری کشاورزی، نقش کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به نوسانات اقلیمی ایفامی‌کند.

ایران به‌عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به‌شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است. ازجمله پیامدهای تغییرات اقلیمی در ایران می‌توان به افزایش دما، کاهش بارندگی، تشدید خشک‌سالی‌ها و وقوع پدیده‌های شدید آب‌وهوایی مانند گردوغبار و سیلاب اشاره کرد (Soleimani Sardo & Misbahzadeh, 2021; Shahinejad et al. , 2022; Khalili et al. , 2022; Shahbazi Kia et al. , 2023; Dastgerdi et al. , 2023; Asadi et al. , 2023; Sari Saraf et al. , 2024). برای سازگاری با این چالش‌ها، دولت و متخصصان ایرانی راهکارهای مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند که ازجمله آن‌ها می‌توان به مدیریت بهینه منابع آب (Hayat Al-Ghayb Moghaddam & Sadat Ashofte, 2019)، توسعه کشاورزی پایدار (Bashiri Sadr et al. , 2020)، استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری (Arvandi, 2024)، تغییر الگوی کشت (Shabani et al. , 2023)، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر (Salimi et al. , 2023)، افزایش پوشش گیاهی (Haddadi Barforoshi et al. , 2024)، ارتقای آگاهی عمومی (Rahbani, 2024) و حمایت از تحقیقات در زمینه تغییر اقلیم (Hadi et al. , 2022) اشاره کرد.

در دشت همدان–بهار، کشاورزی آبی یکی از ارکان اصلی فعالیت‌های اقتصادی و تأمین امنیت غذایی به شمار می‌رود. این دشت به دلیل شرایط اقلیمی مناسب، اراضی حاصلخیز و منابع غنی آب، به‌ویژه منابع آب‌های زیرزمینی، کشت محصولات آبی مختلف رونق داشته است و سودآوری برخی محصولات در سال‌های اخیر باعث افزایش سطح زیر کشت محصولات و متعاقب آن فشار بر منابع آب در این منطقه شده است. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر الگوی زراعی منطقه، در جدول (۱) سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی در سال زراعی ۱۴۰۱–۱۴۰۲ بر اساس آمار رسمی ارائه شده است (MAJO, 2023).

جدول ۱. سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی منطقه دشت همدان–بهار (هکتار)

Table 1- Irrigated Cropped Area of Field Crops in the Hamadan–Bahar Plain (Hectares)

محصول Crop	سطح زیر کشت Cultivated Area (ha)
سیب‌زمینی بهاره Spring Potato	14302
جو Barley	7666
گندم پاییزه Autumn Wheat	570
چغندرقند Sugar Beet	13247
ذرت علوفه‌ای Silage Maize	48
یونجه Alfalfa	66
گوجه‌فرنگی Tomato	16788

منبع: وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲

Source: Ministry of Agriculture Jihad, (2023)

بر اساس داده‌های جدول (۱)، محصول گندم پاییزه با مجموع سطح زیر کشت حدود ۱۶۷۴۸ هکتار، بیشترین سهم را در میان محصولات زراعی آبی منطقه به خود اختصاص داده است. پس از آن سیب‌زمینی بهاره با حدود ۱۶۲۴۶ هکتار، یونجه با ۱۴۳۰۲ هکتار و جو با ۷۶۸۰ هکتار در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این چهار محصول مجموعاً حدود ۹۰/۶ درصد از کل سطح زیر کشت زراعت آبی منطقه را پوشش می‌دهند که نشان‌دهنده تمرکز بالا در ترکیب محصولات منطقه است.

جدول ۲. عملکرد محصولات زراعی دشت همدان–بهار در دوره زمانی ۱۳۹۶–۱۴۰۱ (تن در هکتار)

Table 2- Yield of Field Crops in the Hamadan–Bahar Plain over the Period 2017–2022 (tons per hectare)

سال Year محصول Crop	۱۳۹۶ 2017	۱۳۹۷ 2018	۱۳۹۸ 2019	۱۳۹۹ 2020	۱۴۰۰ 2020	۱۴۰۱ 2021
سیب‌زمینی بهاره Spring Potato	38.99	37.75	46.72	43.6	44.08	41.21
جو Barley	3.76	3.9	3.99	4.42	4.38	3.12
گندم پاییزه Autumn Wheat	2.63	3.94	4.98	4.89	5.31	4.45
چغندرقند Sugar Beet	48.15	51.75	57.18	62.18	51.46	47.1
ذرت علوفه‌ای Silage Maize	45.74	49.09	54.27	60.04	80.37	91.07
یونجه Alfalfa	10.2	10.23	11.62	15	13.24	11.92
گوجه‌فرنگی Tomato	35.52	38.63	44.81	36.79	17.25	14.14

منبع: وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲

Source: Ministry of Agriculture Jihad, 2023

بر اساس داده‌های جدول (۲)، عملکرد محصولات زراعی در سال‌های مختلف نوسانات قابل‌توجهی داشته است. برای مثال، عملکرد سیب‌زمینی بهاره از ۳۸/۹۹ تن در هکتار در سال ۱۳۹۶ به ۴۶/۷۲ تن در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته اما در سال‌های بعد کاهش یافت و در سال ۱۴۰۱ به ۴۱/۲۱ تن رسید. عملکرد گندم پاییزه نیز با نوسان‌های شدیدی مواجه بوده؛ به‌گونه‌ای که از ۲/۶۳ تن در هکتار در سال ۱۳۹۶ به ۴/۹۸ تن در سال ۱۳۹۸ افزایش یافت اما در سال‌های بعد کاهش یافت و در سال ۱۴۰۱ به ۴۵/۴ تن رسید. (MAJO, 2023). این نوسانات طبق مطالعات گذشته می‌تواند ناشی از عوامل متعددی نظیر تغییرات اقلیم (Kalantar et al. , 2025)، منابع آبی (Seidan & Sadeghi, 2022) و یا مدیریت زراعی (Shakeri Bostan Abad et al. , 2018) باشد.

دشت همدان–بهار به‌عنوان یکی از مناطق کشاورزی مهم ایران، به‌شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است. افزایش دما، کاهش بارندگی، تشدید خشک‌سالی‌ها و تغییرات در الگوهای بارندگی، ازجمله چالش‌های اصلی این منطقه هستند (Motaghed et al. , 2022). این تغییرات بر منابع آب زیرزمینی، کشاورزی، محیط‌زیست و اقتصاد منطقه تأثیر گذاشته و منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی، تخریب خاک، افزایش شوری آب‌ها و مهاجرت روستاییان شده است (Moazzezi et al. , 2022). برای سازگاری با این بحران، محققان راهکارهای مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند که ازجمله آن‌ها می‌توان به مدیریت بهینه منابع آب (Oliaei et al. , 2018)، توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار (Rouhani et al. , 2007)، تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم آب‌بر (Kalantar et al. , 2025)، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی (Afrozi & Zare Abianeh, 2020)، حذف چاه‌های غیرمجاز (Soltani et al., 2023) و آموزش کشاورزان (Movahedi et al. , 2019) اشاره کرد.

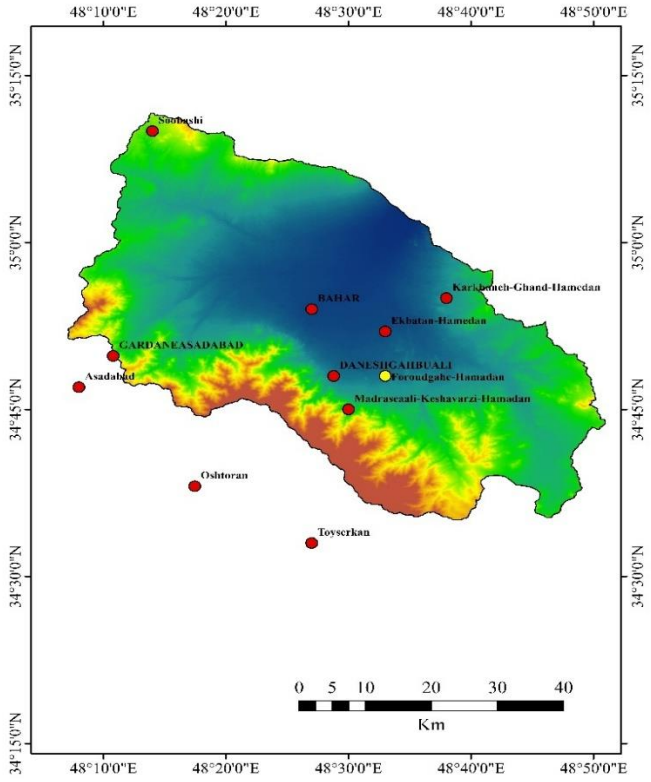
تغییر تاریخ کشت محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از راهکارهای مهم سازگاری با تغییر اقلیم در جهان و ایران مورد توجه قرار گرفته است (Adavi et al. , 2019; Salarieh et al. , 2021; Lou et al. , 2021; Nunes et al. , 2021; Sadeghi et al. , 2022; Xie et al. , 2023; Eyini Nargeseh et al. , 2024; Borzo et al. , 2024; Li et al. , 2024; Salarieh et al. , 2024). با اجرای این راهکار، کشاورزان می‌توانند از دوره‌های نامناسب آب‌وهوایی اجتناب کرده و عملکرد محصولات خود را افزایش دهند. تاریخ کاشت یکی از عوامل مهم جهت بررسی شاخص‌های گیاهی و اقتصادی است؛ زیرا به دلیل تأثیر آن بر طول دوران رشدرویشی و زایشی گیاهان، بر عملکرد محصول تولیدی تأثیر می‌گذارد (Pazoki et al. , 2011). تغییر اقلیم با تغییر فنولوژی و فیزیولوژی گیاه، بیلان آب در خاک، تبخیر و تعرق و بارندگی، رشد و در نتیجه عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Darzi Naftchali & Karandish, 2016) و با تغییر در تاریخ کاشت، پارامترهای اقلیمی نیز در طول دوره رشد تغییر می‌کنند. حتی می‌توان گفت تاریخ کشت گیاه، مراحل فنولوژیکی گیاه و کل تولید زیست‌توده را کنترل کرده و در کارایی تبدیل زیست‌توده به عملکرد مؤثر است (Khichar & Niwas, 2006). به‌طور معمول برای هر منطقه یک بازه زمانی جهت کشت هر گیاه در نظر گرفته می‌شود (Rao et al. , 2000). با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، پژوهشگران به ارزیابی و پیش‌بینی بازه زمانی مطلوب برای کشت محصولات در شرایط مختلف اقلیمی اقدام کرده‌اند (Kawasaki, 2019; Ding et al. , 2020; Baum et al. , 2020; Rezaie et al. , 2022; Wang et al. , 2022; Cui & Xie, 2022; Zhang et al. , 2023; Paul et al. , 2023; Xie et al. , 2023; Zhang et al. , 2024). باوجود پژوهش‌های گسترده در زمینه تعیین بازه زمانی بهینه برای کشت تحت شرایط مختلف اقلیمی، مطالعات معدودی به بررسی هم‌زمان ابعاد اقتصادی و تعیین تاریخ کاشت مناسب پرداخته‌اند.

چنانچه مشاهده شد، جهت مقابله با آثار نامطلوب تغییر اقلیم در دشت همدان–بهار راهکارهای مختلفی توسط محققان ارائه و پیشنهاد شده است. بااین‌حال، تغییر تاریخ کشت به‌عنوان یکی از ساده‌ترین و قابل‌اجراترین راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا، مطالعه حاضر جهت پاسخ‌گویی به این سؤال که آیا تغییر تاریخ کشت می‌تواند استراتژی مناسبی برای سازگاری با اقلیم باشد یا خیر، طراحی و انجام شد. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر تغییر تاریخ کاشت بر عملکرد محصول در شرایط اقلیمی دشت مورد مطالعه صورت پذیرفته است. با توجه به سهم قابل‌توجه محصولات آب‌بر در الگوی کشت منطقه، این پژوهش بر روی محصولاتی چون جو، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای،

سیب‌زمینی بهاره، گندم پاییزه، گوجه‌فرنگی و یونجه متمرکز شد. این محصولات به دلیل سطح زیر کشت گسترده به‌عنوان نمونه‌هایی از الگوی کشت غالب انتخاب شدند و تحت بررسی‌های دقیق قرار گرفتند.

روش‌شناسی تحقیق

برای پاسخگویی به سؤال تحقیق و متناسب با مطالعات پیشین، ابتدا شبیه‌سازی دو پارامتر اصلی اقلیم یعنی دما و بارش برای دوره‌های آتی انجام گرفت. در این پژوهش برای ریز مقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی از مدل LARS-WG [1] استفاده شد که یکی از شناخته‌شده‌ترین مدل‌های تولید داده روزانه اقلیمی بر پایه آمار گذشته و سناریوهای تغییر اقلیم است (Sha et al. , 2019). بنابراین به‌منظور ارزیابی اعتبار نتایج حاصل از شبیه‌سازی با LARS-WG، داده‌های تاریخی بارندگی، حداقل دما و حداکثر دمای ایستگاه تحقیقات فرودگاه (همدان) در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ بازتولید شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در محدوده مطالعه را نمایش می‌دهد که داده‌های اقلیمی مشاهداتی آن‌ها به‌عنوان ورودی مدل‌سازی اقلیم پایه مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از شاخص‌های آماری پیرسون، میانگین خطای مطلق (MAE) [2] و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) [3]، اعتبار مدل برای شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌شده ارزیابی شد (روابط ۱ تا ۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان)

Figure 1- Geographic Location of the Synoptic Airport Meteorological Station (Hamadan)

$$\rho = \frac{\sum\left[(A_t - \overline{A})(F_t - \overline{F})\right]}{\sqrt{(A_t - \overline{A})^2 (F_t - \overline{F})^2}}$$

رابطهٔ ۱

1 Long Ashton Research Station – Weather Generator
2 Mean Absolute Error (MAE)
3 Root Mean Square Error (RMSE)

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right|}{n} * 100$$ رابطهٔ ۲

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{n}$$ رابطهٔ ۳

مدل‌های گردش عمومی جو به‌عنوان چارچوب‌های شبیه‌سازی اقلیم جهانی برای پیش‌نگری تغییرات دما و بارش و بررسی تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم مورد استفاده قرارمی‌گیرند. مدل‌های GCM به‌منظور شبیه‌سازی الگوهای مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوهای مختلف اقلیمی آینده‌نگر توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها[۲] ابزار اصلی تولید داده‌های اقلیمی آینده در مقیاس جهانی هستند و خروجی آن‌ها مبنای بسیاری از تحلیل‌های مرتبط با تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای و محلی است. با استناد بر این موضوع، داده‌های بلندمدت مربوط به دما و بارش از پنج مدل منتخب GCM تحت پروژه CMIP6 از پایگاه‌داده‌های شبکه تغییر اقلیم کانادا (Canadian Climate Data) استخراج شد. انتخاب این مدل‌ها با استناد به مطالعات پیشین (Zarrin et al. , 2021; Zarrin & Dadashi Rudbari, 2021; Salahi et al. , 2023; Babaian et al. , 2023; Nemati Shishehgaran et al. , 2024; Rezaei et al. , 2024) و باهدف پوشش جامع تغییرات اقلیمی انجام شد.

جدول ۳. مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CMIP6

Table 3- CMIP6 Models and Contributing Research Institutions

شماره No.	مدل Model	مؤسسات تحقیقاتی تدوین‌کننده مدل‌ها Developing Institution (Country)
1	MRI-ESM2-0	Japan
2	BCC-CSM2-MR	China
3	CNRM-CM6-1-HR	France
4	GFDL-ESM4	USA
5	MPI-ESM1-2-HR	Germany

جهت انتخاب دقیق‌ترین مدل گردش عمومی جو (GCM)، از شاخص‌های آماری معتبر همچون میانگین خطای انحراف مطلق (MAD)، میانگین درصد قدرمطلق خطا (MAPE) و خطای میانگین مربعات (MSE) استفاده شد. در این پژوهش، خروجی روزانه مدل منتخب GCM برای متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر به‌عنوان ورودی مدل ریز مقیاس‌نمایی آماری LARS-WG جهت پیش‌نگری تغییر اقلیم برای دوره آتی ۲۰۲۶ تا ۲۰۵۰ تحت سناریوهای انتشار SSP1-2.6 و SSP3-7.0 در سطح منطقه مورد استفاده قرار گرفت. جدول (۳) مدل‌های منتخب و مؤسسات تحقیقاتی تدوین‌کننده آن‌ها را نمایش می‌دهد. انتخاب این سناریوهای اقلیمی آینده‌نگر با توجه به مطالعات پیشین و با هدف بررسی طیف وسیعی از تغییرات اقلیمی صورت گرفت (Sarabi et al. , 2021; Mohammadi et al. , 2023; Sari Saraf et al. , 2023; Khan Salari & Mohammadi, 2023; Rezaei et al. , 2024).

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{n} A_t - F_t}{n}$$ رابطهٔ ۴

1General Circulation Models (GCMs)
2Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n}|A_t - F_t|}{n}$$ رابطهٔ ۵

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{n}}$$ رابطهٔ ۶

برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه در دو دوره زمانی (دوره اقلیم پایه و دوره‌های آتی) تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، از مدل AquaCrop استفاده شد. یکی از مزایای این مدل، ارزیابی آثار تغییرات اقلیمی بر عملکرد محصولات زراعی است. در این روش، با اعمال داده‌های اقلیمی آینده به‌عنوان ورودی مدل، می‌توان میزان تغییرات عملکرد محصول را در مقایسه با دوره پایه برآورد کرد. این رویکرد در مطالعات متعدد داخلی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفته و مدل موثری برای تحلیل آثار اقلیمی در سطح مزرعه محسوب می‌شود (Delqandi et al. , 2016; Saadati et al. , 2016; Alvar-Beltrán et al. , 2021; Wale et al. , 2022; Kamkar et al. , 2022; Al-Lami et al. , 2023; Neysi et al. , 2023; Li et al. , 2024).

در ادامه و با به‌کارگیری داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر در سناریوهای مختلف اقلیمی، شبیه‌سازی عملکرد محصولات الگوی کشت با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop انجام شد. AquaCrop یکی از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی است که از سوی سازمان خواربار جهانی ارائه شده است (Nunes et al. , 2021; Zhang et al. , 2022; Raes et al. , 2023; Akbari et al. , 2024). یکی از رویکردهای مهم این مدل، توانایی شبیه‌سازی عملکرد و رشد گیاهان مختلف تحت شرایط تغییر اقلیم است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان داخلی (Ramezani et al. , 2019; Vaez Madani et al. , 2019; Haghnazari et al. , 2020; Emdad & Tafteh, 2021; Emdad et al. , 2022; Nazari et al. , 2022; Karrari Kheir et al. , 2021; Nunes et al. , 2021; Jin et al. , 2020; Zhang et al. , 2022; Zhai et al. , 2022; Xie et al. , 2023; Raes et al. , 2023; Li et al. , 2024) و خارجی (et al. , 2023) قرار گرفته است.

در این مطالعه، به‌منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر فرایندهای رشد و نمو محصولات زراعی منتخب در دشت همدان–بهار، مدل رشد محصول AquaCrop در نسخه ۷/۱ به کار گرفته شد. این مدل قادر است رابطه پیچیده‌ای را که میان میزان محصول تولیدی و تنش آبی ناشی از کمبود رطوبت خاک در طول دوره رشد وجود دارد، به‌طور کمی توصیف کند. در گام نخست، با بهره‌گیری از معادله استاندارد فائو–پنمن–مانتیث[1] (Abdalhi et al. , 2020; Wellens et al. , 2022; Wu et al. , 2022; OULHACI, 2024) و بر اساس داده‌های اقلیمی، تبخیر–تعرق مرجع محصولات در دوره‌های پایه و آینده (۲۰۲۶–۲۰۵۰) محاسبه شد. این معادله، یکی از معتبرترین روش‌های برآورد تبخیر–تعرق مرجع (ET_0) است که به‌طور گسترده برای محاسبه نیاز آبی گیاهان در مطالعات مرتبط با مدیریت منابع آب و ارزیابی آثار تغییر اقلیم به کار می‌رود. این محاسبات به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل AquaCrop، جهت شبیه‌سازی دقیق‌تر پاسخ محصولات به تنش آبی در شرایط مختلف اقلیمی مورد استفاده قرار گرفتند.

به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌نگری عملکرد گیاهان منتخب در شرایط فعلی و آینده اقلیمی، از مدل AquaCrop استفاده شد. این فرایند شامل دو مرحله اصلی بود: (۱) کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل بر اساس داده‌های مزرعه‌ای واقعی و (۲) اجرای مدل برای پیش‌بینی عملکرد تحت سناریوهای اقلیمی آتی. در گام نخست، جهت افزایش دقت مدل و تطبیق آن با شرایط واقعی منطقه مورد مطالعه (دشت همدان–بهار)، داده‌های پایه‌ای نظیر تاریخ کاشت، عملکرد واقعی، مدیریت آبیاری و رقم کشت‌شده از طریق پرسشنامه‌های میدانی در میان کشاورزان منطقه گردآوری شد. همچنین از پایگاه داده ملی آب (NETWAT) برای استخراج اطلاعات مکمل شامل داده‌های اقلیمی و نیاز آبی استفاده شد. این داده‌ها به‌منظور کالیبراسیون پارامترهای مدل و ارزیابی صحت شبیه‌سازی در شرایط فعلی به کار گرفته شدند. در مرحله دوم برای پیش‌بینی عملکرد گیاه در تاریخ‌های مختلف کاشت تحت سناریوهای اقلیمی آینده (دوره ۲۰۵۰–۲۰۲۶)، از داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی‌شده (شامل بارش، تبخیر–تعرق مرجع، دمای حداقل و حداکثر) استفاده شد. در این مرحله، مدل با فرض ثابت ماندن مدیریت زراعی (مانند

1FAO-56 Penman–Monteith equation

رقم گیاهی و الگوی آبیاری) و با استفاده از پارامترهای کالیبره شده از مرحله پیشین اجرا شد (رابطه ۸). بنابراین شبیه‌سازی عملکرد آینده اگرچه بر اساس داده‌های اقلیمی جدید انجام شد اما بر پایه پارامترهایی استوار بود که پیش‌تر با داده‌های عملکرد گذشته تنظیم شده بودند. به این صورت که در مدل AquaCrop، به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در تاریخ‌های کشت مختلف، داده‌های مربوط به تاریخ‌های کشت مورد نظر در بخش اطلاعات گیاهی مدل وارد و تغییر داده می‌شود. پس از اعمال تغییرات، مدل AquaCrop قادر است عملکرد گیاه را در دوره زمانی مشخص و تاریخ کشت اعمال‌شده شبیه‌سازی و ارائه کند. این واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه به تغییر تاریخ کاشت که در قالب تغییر در رشد و عملکرد نهایی ظاهر می‌شود، نوعی سازگاری به شمار می‌آیند که به گیاه امکان می‌دهد در شرایط متغیر اقلیمی و محدودیت منابع، بقا و رشد خود را حفظ کند (Raoufi & Soufizadeh, 2020; Umesh et al. , 2022; Gürkan, 2023; Li et al. , 2024; Flores-Marquez et al. , 2024; Hoseini et al. , 2025; Ajaz et al. , 2025).

جدول ٤. درصد پارامترهای ژنتیکی ورودی مدل شبیه‌سازی

Table 4- Percentage Contribution of Genetic Parameters Used as Inputs in the Crop Simulation Model

محصول Crop	**ضریب ژنتیکی** Genetic Coefficient	**درصد (٪)** Percentage (%)
جو Barley	عملکرد دانه Grain Yield	45
	ارتفاع بوته Plant Height	55
	مقاومت به بیماری‌ها Disease Resistance	50
چغندرقند Sugar Beet	محتوای قند Sugar Content	60
	عملکرد ریشه Root Yield	50
ذرت علوفه‌ای Silage Maize	عملکرد علوفه Forage Yield	60
	ارتفاع بوته Plant Height	70
سیب‌زمینی بهاره Spring Potato	عملکرد غده Tuber Yield	35
	مقاومت به بیماری‌ها Disease Resistance	40
گندم پاییزه Autumn Wheat	عملکرد دانه Grain Yield	50
	ارتفاع بوته Plant Height	60
	مقاومت به بیماری‌ها Disease Resistance	40
گوجه‌فرنگی Tomato	عملکرد میوه Fruit Yield	60
	محتوای مواد جامد محلول (درجه بریکس) Soluble Solids Content (°Brix)	70
یونجه Alfalfa	عملکرد علوفه Forage Yield	60
	ارتفاع بوته Plant Height	70
	مقاومت به بیماری‌ها Disease Resistance	50

درصد اهمیت نسبی پارامترهای ژنتیکی در فرایند کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی عملکرد محصولات در جدول (۴) نشان داده شده است. این ضرایب با استناد به مطالعات پیشین، منابع علمی معتبر و با در نظر گرفتن شرایط منطقه‌ای تعیین شده‌اند و نقش آن‌ها در بهینه‌سازی انطباق بین خروجی مدل و داده‌های مشاهده‌شده است. به‌عبارت‌دیگر، این ضرایب به‌عنوان پارامترهای فنی مدل در مرحله تنظیم و واسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، با در نظر گرفتن تحولات اقلیمی اخیر در منطقه مورد مطالعه، تاریخ‌های کاشت محصولات کشاورزی به‌گونه‌ای شبیه‌سازی شدند تا همگام با شرایط جدید اقلیمی بوده و از بروز تنش‌های محیطی بر رشد و نمو گیاهان کاسته شود. تحلیل داده‌های اقلیمی چندین ساله به همراه مدل‌سازی رشد گیاهان، امکان تعیین دقیق تاریخ کاشت متفاوت برای هر محصول را فراهم آورد. در این مطالعه، با توجه به اهمیت تاریخ کشت بر عملکرد محصولات زراعی، تاریخ‌های کشت پیشنهادی بر اساس اطلاعات حاصل از پرسشنامه کشاورزان منطقه تعیین شد. این تاریخ‌ها با تاریخ‌های کشت معمول مقایسه شده و تأثیر آن‌ها بر عملکرد اقتصادی محصولات مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی در بخش نتایج گزارش شده است. در بخش سوم، مدل شبیه‌ساز اقتصادی دشت با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی توسعه یافت و برای دوره آتی (۲۰۲۶–۲۰۵۰) با بهره‌گیری از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) انجام شد. این مدل به‌منظور تحلیل و شبیه‌سازی وضعیت اقتصادی دشت در آینده، با در نظر گرفتن عوامل مختلف ازجمله تغییرات اقلیمی، عملکرد محصولات کشاورزی و محدودیت‌های منابع طراحی شده است. روابط ریاضی حاکم بر مدل که در ادامه نمایش داده شده‌اند، شامل معادلات و نامعادلات مربوط به سود، تولید، هزینه و محدودیت‌های منابع هستند. این روابط با استفاده از داده‌های واقعی و اطلاعات پیش‌بینی‌شده برای دوره آتی، تنظیم و کالیبره شده‌اند تا مدل بتواند به‌طور دقیق‌تر وضعیت اقتصادی دشت را شبیه‌سازی و تحلیل کند.

رابطهٔ ۷
$$\text{Max} \quad \omega = \sum_{i=1}^{9} X_i(P_i Y_i - C_i)$$

st:

رابطهٔ ۸
$$Y_i = f(CLIF, NCLIF)$$

رابطهٔ ۹
$$\sum_{i=1}^{9} X_i \leq \text{TLan}$$

رابطهٔ ۱۰
$$\sum_{i=1}^{9} W_i X_i \leq \text{TWat}$$

رابطهٔ ۱۱
$$\sum_{i=1}^{9} L_i X_i \leq \text{TLab}$$

رابطهٔ ۱۲
$$\sum_{i=1}^{9} M_i X_i \leq \text{TMac}$$

رابطهٔ ۱۳
$$\sum_{i=1}^{9} F_i X_i \leq \text{TFert}$$

رابطهٔ ۱۴
$$\sum_{i=1}^{9} I_i X_i \leq \text{TInv}$$

رابطهٔ ۱۵
$$C_i = \varphi_i + P_W W_i + P_L L_i + P_M M_i + P_F F_i + P_I I_i$$

رابطهٔ ۱۶
$$X_i, X_s \geq 0$$

در این مدل، شاخص i نشانگر محصولات موجود در الگوی کشت منطقه است. متغیر تصمیم‌گیری اصلی، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی (X) بر حسب هکتار است. عملکرد هر محصول (Y) بر حسب کیلوگرم در هکتار، تابعی از عوامل تولید و فناوری موجود است که به‌صورت ضرایب فنی در مدل لحاظ شده‌اند. قیمت هر محصول (P) نیز در محاسبه بازده خالص مؤثر دخیل است. هزینه‌های تولید (C) شامل هزینه ثابت زمین (φ) و هزینه‌های متغیر (شامل هزینه‌های مربوط به آب (W)، نیروی کار (L)، ماشین‌آلات (M)، کود (F) و سرمایه (I) است. محاسبه هزینه‌ها بر اساس رابطه مستقیم بین قیمت واحد هر متغیر از منبع و میزان مصرف آن متغیر صورت می‌گیرد. در رابطه (۸)، عملکرد شبیه‌سازی‌شده هر یک از محصولات زراعی موجود در الگوی کشت، مطابق با هدف مطالعه و بر اساس داده‌های حاصل از مدل AquaCrop در مرحله دوم استخراج شد و به‌عنوان ورودی مدل توسعه‌یافته منطقه در قالب دو سناریوی مورد نظر به کار گرفته شد. در ساختار مدل، شاخص اقلیمی CLIF (نظیر متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر، غلظت دی‌اکسید کربن و تبخیر–تعرق مرجع) و شاخص غیراقلیمی NCLIF (نظیر ویژگی‌های گیاهی، مدیریت آبیاری و خاک) لحاظ شدند. مدل اشاره شده با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در منطقه، ازجمله محدودیت‌های منابع زمین (TLan)، آب (TWat)، نیروی کار (TLab)، ماشین‌آلات (TMac)، کود (TFert) و سرمایه (TInv)، تدوین شده است. این محدودیت‌ها به‌صورت نامساوی‌های خطی در روابط (۹) تا (۱۵) بیان شده‌اند و نشان می‌دهند که میزان استفاده از هر یک از منابع ذکر شده برای تولید هر محصول، نباید از مقدار کل آن منبع تجاوز کند تا هم کارایی اقتصادی حفظ شود و هم پایداری اکولوژیکی نظام کشت مورد نظر تضمین گردد. همچنین محدودیت غیر منفی بودن سطح فعالیت (رابطه ۱۶) نیز در مدل لحاظ شده است تا اطمینان حاصل شود که سطح زیر کشت هر محصول نمی‌تواند مقدار منفی داشته باشد. درمجموع، مدل ارائه‌شده یک چارچوب ریاضی جامع برای بهینه‌سازی ترکیب محصولات کشاورزی در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌آورد. با حل این مدل، می‌توان به ترکیب بهینه محصولات و سطح زیر کشت هر محصول دست‌یافت که منجر به حداکثر شدن سوددهی کل فعالیت‌های زراعی در منطقه شود. مدل PMP روشی کالیبره شده برای مدل‌سازی تصمیم‌گیری تولیدکنندگان در سطح مزرعه یا منطقه است که با افزودن یک مؤلفه هزینه شبه غیرخطی به ساختار کلی برنامه‌ریزی ریاضی، توانایی بازتولید تخصیص‌های مشاهده‌شده در سال مرجع را دارد. به بیان دقیق‌تر، پارامترهای تابع هزینه در PMP به‌گونه‌ای کالیبره می‌شوند که حل هدف مدل با الگوی کشت واقعی منطقه تطابق یابد و پس‌ازآن مدل قابلیت تحلیل پاسخ تولیدکنندگان به تغییرات بیوفیزیکی یا اقتصادی را با رفتار واقع‌گرایانه‌تری فراهم می‌آورد. در چارچوب این پژوهش، خروجی‌های بیوفیزیکی مدل AquaCrop؛ یعنی عملکرد پیش‌نگری شده(y_i) برای هر محصول به ازای هر تاریخ کشت تحت سناریوهای اقلیمی آینده، به‌عنوان ورودی‌های تولید به مدل PMP وارد شدند. تابع هدف PMP حداکثر سازی سود خالص منطقه را به‌صورت جمعی از درآمدهای محصول من‌های هزینه‌ها مدل‌سازی می‌کند و این بهینه‌سازی تحت قیود منابع مانند کل زمین قابل‌کشت، تخصیص آب آبیاری و سایر محدودیت‌های فصلی حل می‌شود. با کالیبراسیون PMP بر مبنای داده‌های مرجع، اطمینان حاصل می‌شود که تخصیص‌های به‌دست‌آمده توسط مدل در وضعیت بدون شوک با رفتار مشاهده‌شده همخوانی دارد. سپس با جایگزینی yi های جدید (نتایج AquaCrop برای تاریخ‌های کشت متفاوت و سناریوهای اقلیمی) مدل پاسخ اقتصادی منطقه، شامل سطوح بهینه زیر کشت، تغییرات در ترکیب محصولات و سود خالص منطقه‌ای را پیش‌نگری می‌کند. به‌این‌ترتیب، پیوند روش‌شناختی AquaCrop→PMP امکان انتقال تغییرات زیستی ناشی از تغییر تاریخ کشت به پیامدهای اقتصادی را فراهم می‌سازد و ابزار مناسبی برای ارزیابی کارایی راهبرد تغییر تاریخ کشت در سازگاری با تغییر اقلیم ارائه می‌دهد.

یافته‌های پژوهش

صحت‌سنجی LARS-WG

نتایج ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG نشان می‌دهد که این مدل توانایی بالایی در تولید پارامترهای اقلیمی بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در دشت مورد مطالعه دارد. مقادیر بالای ضریب تعیین (NS) نشان‌دهنده این موضوع است. تحلیل نتایج حاصل از شاخص‌های RMSE، MAE و MBE حاکی از آن است که مدل در شبیه‌سازی بارش، دمای بیشینه و کمینه متوسط ماهانه عملکرد قابل‌قبولی داشته است (جدول ۵). از سوی دیگر، مقدار بالای ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده برای تمامی متغیرها، نشان‌دهنده همبستگی قوی و قابل‌قبول بین این دو دسته داده است. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش حاکی از آن است که مدل LARS-WG ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در منطقه مورد مطالعه است.

جدول ۵. نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی ایستگاه فرودگاه (همدان) و مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل

Table 5- Statistical Performance Indicators from the Comparison of Observed Data at the Airport Station (Hamadan) and Model-Simulated Values

شاخص‌های آماری Statistical Indices	بارش Precipitation	دمای بیشینه Maximum Temperature	دمای کمینه Minimum Temperature
RMSE	1.41	0.28	0.22
MAE	1.08	0.24	0.18
MBE	0.35	-0.02	-0.03
NS	0.93	0.99	0.99
ρ	0.95	0.99	0.99

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research Findings

نتایج انتخاب بهترین مدل AOGCM

همان‌طور که در بخش روش‌شناسی اشاره شد، انتخاب مدل گردش عمومی جو (AOGCM) مناسب، نقش تعیین‌کننده‌ای در دقت پیش‌نگری‌های تغییرات اقلیمی دارد. در این پژوهش، با هدف انتخاب مناسب‌ترین مدل AOGCM، دوره مشترک میان خروجی مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی برای متغیرهای اقلیمی بارش، دمای حداقل و حداکثر در هر ایستگاه ارزیابی شد. سپس با استفاده از مولد اقلیمی LARS-WG و داده‌های مشاهداتی، داده‌های اقلیمی در دوره ارزیابی تولید و با استفاده از شاخص‌های خطای مطلق میانگین (MAE)، درصد خطای مطلق میانگین (MAPE) و میانگین مربعات خطا (MSE) با داده‌های مشاهداتی مقایسه شدند. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل GFDL-ESM4 به دلیل کمترین میزان خطا در پیش‌بینی بارش و دمای متوسط در ایستگاه مورد مطالعه، به‌عنوان مدل پایه برای تولید سناریوهای اقلیمی آینده انتخاب شد. نتایج حاصل از این مدل در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ٦. نتایج ارزیابی انتخاب بهترین مدل منطبق بر منطقه

Table 6- Evaluation Results for Selecting the Best-Fitting Climate Model for the Study Area

مدل Model	MAE		MAE		MSE	
	بارش Precipitation	دما Temperature	بارش Precipitation	دما Temperature	بارش Precipitation	دما Temperature
MRI-ESM2-0	0.024	0.058	70.89	2.77	71.75	0.39
BCC-CSM2-MR	0.020	0.052	53.71	4.78	57.08	0.42
CNRM-CM6-1-HR	0.014	0.054	39.72	5.60	34.73	0.67
GFDL-ESM4	0.007	0.051	35.33	4.48	10.95	0.35
MPI-ESM1-2-HR	0.009	0.054	38.61	5.66	14.59	0.36

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research Findings

متغیرهای اقلیمی تولید شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

پس از ارزیابی دقت مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) در پیش‌بینی دما و بارش ایستگاه فرودگاه همدان، مدلی با بیشترین تطابق با داده‌های مشاهده‌ای انتخاب و برای تولید سناریوهای اقلیمی آینده به کار گرفته شد. با استفاده از مدل LARS-WG و در نظر گرفتن دوره پایه ۱۹۹۰–۲۰۱۴، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای SSP1-2.6 (ایده‌آل) و SSP3-7.0 (بحرانی) برای پیش‌بینی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۲۶–۲۰۵۰ تولید شدند. داده‌های تولیدشده برای دما و بارش، با تلفیق اطلاعات مشاهداتی دوره پایه و خروجی مدل LARS-WG تحت سناریوهای مختلف، امکان تحلیل تغییرات اقلیمی آینده در منطقه را فراهم آوردند.

نتایج حاصل از مدل‌سازی اقلیمی GFDL-ESM4 برای ایستگاه مورد مطالعه در دشت همدان–بهار نشان می‌دهد که در دوره آتی (۲۰۲۶–۲۰۵۰)، به‌طورکلی روند افزایشی دما و کاهشی بارندگی تحت تمامی سناریوهای اقلیمی پیش‌بینی شده است. بر اساس داده‌های ریز مقیاس‌شده LARS-WG و جدول (۷)، میانگین دمای سالانه در تمامی سناریوها افزایش قابل‌توجهی خواهد داشت. همچنین میانگین بارش سالانه نیز در تمامی سناریوها کاهش می‌یابد، هرچند که این کاهش به‌صورت خطی و یکنواخت نبوده و ممکن است در دوره‌های زمانی مختلف نوساناتی را نشان دهد. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه به سمت گرم‌تر و خشک‌تر شدن پیش می‌رود و این امر می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی بر منابع آب، کشاورزی و اکوسیستم‌های منطقه داشته باشد.

جدول ۷. میزان تغییرات پیش‌نگری میزان پارامترهای اقلیمی در دشت همدان – بهار طی دورهٔ آتی ۲۰۲۶–۲۰۵۰

Table 7- Projected Changes in Climatic Parameters in the Hamadan–Bahar Plain for the Future Period 2026–2050

سناریو Scenario	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	دمای حداقل (سانتی‌گراد) Minimum Temperature (°C)	دمای حداکثر (سانتی‌گراد) Minimum Temperature (°C)
پایه Baseline	302.36	-0.01	18.41
SSP1-2.6	293.20	0.50	18.85
SSP3-7.0	279.79	0.79	19.66

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research Findings

مدل واسنجی‌شده AquaCrop برای تاریخ کشت‌های مختلف و بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی ۲۵ ساله (۱۹۹۰–۲۰۲۲) ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) اجرا شد. مقادیر عملکرد دانه برآوردشده بر اساس سناریوهای اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 برای تاریخ کشت‌های مورد بررسی و دوره زمانی پایه و آتی در جدول (۸) ارائه شده است. با استناد به یافته‌های پژوهش، روند کلی عملکرد دانه محصولات مورد مطالعه، علی‌رغم نوسانات جزئی، طی دوره بررسی به افزایش گرایش داشته است. به‌منظور کنترل متغیرهای دخیل در آزمایش، نمونه‌های خاک و گیاه همگن شدند و تاریخ کشت به‌گونه‌ای تنظیم شد که تأثیر تغییرات بارندگی بر مدیریت آبیاری به حداقل برسد. در مدل شبیه‌سازی، با اعمال کاهش ۵ درصدی در میزان آبیاری، تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گیاهان ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که تغییرات پارامترهای هواشناسی، به‌ویژه دما و بارندگی، عامل اصلی تفاوت در عملکرد گیاهان تحت سناریوهای اقلیمی مختلف است. تغییرات پارامترهای هواشناسی (تبخیر–تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0)، دمای هوا و بارش) در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد که در این مدت چهار پارامتر اقلیمی ET_0، دمای هوا و دی‌اکسید کربن روندی افزایشی و بارش روندی کاهشی داشته‌اند (جدول ۷). افزایش دما در دوره رشد با کاهش طول دوره همراه بوده و از سوی دیگر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (Thompson et al. , 2017). با در نظر گرفتن روند نزولی بارش سالانه در منطقه، تاریخ کشت محصولات به‌گونه‌ای بهینه‌سازی شد که کمبود رطوبت خاک در طول دوره رشد گیاهان تا حد ممکن جبران گردد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال این راهبرد، علی‌رغم افزایش دمای هوا، به ارتقای عملکرد دانه محصولات منجر شده است. به نظر می‌رسد تأثیر مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و تأمین رطوبت کافی خاک از طریق مدیریت تاریخ کشت، بر آثار سوء افزایش دما غلبه کرده است.

شبیه‌سازی عملکرد محصولات در تاریخ کشت مختلف

در این پژوهش برای بررسی اثر تغییر تاریخ کاشت بر عملکرد محصولات زراعی در شرایط اقلیمی آینده، دو تاریخ کاشت برای هر محصول در نظر گرفته شد. تاریخ پایه که معادل زمان واقعی کشت در منطقه دشت همدان–بهار است و تاریخ پیشنهادی که با هدف افزایش عملکرد انتخاب شده است. تاریخ‌های پیشنهادی بر اساس شواهد میدانی، توصیه‌های محلی، مطالعات گذشته در اقلیم‌های مشابه و همچنین نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop تعیین شدند. معیار اصلی انتخاب این تاریخ‌ها، بیشینه‌سازی عملکرد محصول و سازگاری با شرایط اقلیمی آینده بوده است. بر این اساس، تاریخ کاشت پایه برای گندم پاییزه و جو ۱۳ مهر و تاریخ پیشنهادی ۲۸ مهر تعیین شد. برای چغندرقند، تاریخ کاشت پایه ۱۰ فروردین و تاریخ پیشنهادی ۲۴ اسفند سال قبل برای سیب‌زمینی بهاره، تاریخ پایه ۱۶ فروردین و تاریخ پیشنهادی ۵ اردیبهشت برای ذرت علوفه‌ای، تاریخ پایه ۲۰ اردیبهشت و تاریخ پیشنهادی ۴ خرداد برای گوجه‌فرنگی، تاریخ پایه ۱۰ فروردین و تاریخ پیشنهادی ۱ اسفند سال قبل و برای یونجه، تاریخ پایه ۱۵ اردیبهشت و تاریخ پیشنهادی ۵ اردیبهشت تعیین شد. این تاریخ‌ها در شبیه‌سازی‌های مدل عملکرد محصول به کار گرفته شده و مبنای تصمیم‌گیری در تحلیل سناریوهای مدیریتی قرار گرفتند.

جدول ۸. میانگین عملکرد دانه در ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) در تاریخ‌های کشت مختلف (تن بر هکتار)

Table 8- Mean Grain Yield at the Synoptic Airport Station (Hamadan) under Different Planting Dates (ton/h)

محصول Crop	تاریخ کشت پایه (الف) Baseline Planting Date (A)	تاریخ کشت متفاوت (ب) Alternative Planting Date (B)	عملکرد پایه Baseline Yield	SSP1-2.6		SSP3-7.0	
				(A)	(B)	(A)	(B)
جو Barley	5 Oct	20 Oct	3.77	3.62	4.11	3.67	4.17
چغندرقند Sugar Beet	30 Mar	15 Mar	48.15	48.06	52	48.2	53.01
ذرت علوفه‌ای Silage Maize	10 May	25 May	45.74	46.43	48.03	46.72	48.67
سیب‌زمینی بهاره Spring Potato	5 Apr	25 Apr	38.99	38.6	42.3	38.98	42.85
گندم پاییزه Autumn Wheat	5 Oct	20 Oct	2.63	2.56	2.87	2.58	2.92
گوجه‌فرنگی Tomato	30 Mar	20 Feb	35.52	34.41	36.37	34.73	36.94
یونجه Alfalfa	5 May	25 Apr	10.2	10.12	10.4	10.17	10.6

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research Findings

نتایج حاصل از تغییرات عملکرد دانه با توجه به تاریخ کشت در هر سال است. میانگین عملکرد دانه برای تاریخ‌های کشت مورد بررسی در هر سناریوی اقلیمی برای ایستگاه یادشده در جدول (۸) گزارش شده است. بیشترین میزان تغییر عملکرد دانه برای محصولات گندم پاییزه، جو و سیب‌زمینی بهاره به ترتیب به‌طور متوسط برابر با ۱۰/۵ درصد (۲۸ مهر)، ۱۰ درصد (۲۸ مهر) و ۹/۵ درصد (۵ اردیبهشت) به دست آمد که این تاریخ‌های کشت نسبت به تاریخ‌های کشت واقعی در منطقه نتیجه بهتری برای شاخص ارزیابی عملکرد نشان داده‌اند. نتایج تحلیل داده‌های عملکرد محصولات در تاریخ کشت پیشنهادی، بهبود قابل‌توجهی را در عملکرد محصولات نسبت به تاریخ کشت پایه تحت تغییر اقلیم نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول (۸) ارائه شده است، با اعمال تغییرات در تاریخ کشت محصولات، تطابق بهتری با شرایط اقلیمی پیش‌نگری شده در منطقه حاصل شد و در نتیجه، عملکرد محصولات در بسیاری از موارد بهبود یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییر تاریخ کشت محصولات می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر در افزایش تاب‌آوری محصولات نسبت به سناریوهای مختلف اقلیمی در نظر گرفته شود. این نتایج، اهمیت اعمال الگوهای کشت سازگار با شرایط اقلیمی متغیر را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله دشت همدان–بهار بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد. نتایج این تحقیق از نظر توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب با تحقیقات سایر پژوهشگران همخوانی دارد (Pahloozadeh et al. , 2018; Khalaj & Nasri, 2019; Majdami & Barhani, 2021; Qamari et al. , 2022; Pesarkalo et al. , 2023; Saber Ali, 2023; Jafari et al. , 2024).

شبیه‌سازی اقتصادی الگوی کشت منطقه

پس از شبیه‌سازی عملکرد و جمع‌آوری اطلاعات آماری محصولات زراعی منتخب (قیمت بازاری، سطح زیر کشت، عملکرد، مقدار و هزینه نهاده‌های مصرفی)، نتایج حاصل از واسنجی مدل توسعه‌یافته اقتصادی مربوط به دشت مورد مطالعه، تأثیر سیاست تغییر تاریخ کشت بر الگوی کشت و سود خالص کشاورزان منطقه را مشخص کرد و در نهایت به مقایسه این نتایج با سیاست تاریخ کشت پایه دشت همدان–بهار پرداخته شد. در ابتدای بخش شبیه‌سازی اقتصادی الگوی کشت منطقه، تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب بررسی می‌شود. این تحلیل با اتکا به عملکردهای شبیه‌سازی‌شده در دوره آتی، تحت دو سناریوی اقلیمی (SSP) انجام گرفته و به‌منظور ارزیابی

نحوه تغییر ترکیب سطح زیر کشت در واکنش به تغییر تاریخ کشت تحت شرایط اقلیمی پیش‌رو انجام شده است و چارچوب داده‌ای لازم برای مراحل بعدی مدل‌سازی اقتصادی را فراهم می‌کند. ازاین‌رو، تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب شامل جو، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی بهاره، گندم پاییزه، گوجه‌فرنگی و یونجه تحت شرایط تغییر زمان کاشت و سناریوهای اقلیمی مورد بررسی در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹. درصد تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب الگوی کشت (درصد)

Table 9- Percentage Changes in Cultivated Area of Selected Cropping Pattern Products (%)

محصول Crop	SSP1-2.6		SSP3-7.0	
	تاریخ کشت پایه Baseline Planting	تاریخ کشت متفاوت Alternative Planting	تاریخ کشت پایه Baseline Planting	تاریخ کشت متفاوت Alternative Planting
جو Barley	-6.67	-2.24	-8.70	-2.52
چغندرقند Sugar Beet	4.17	45.83	6.25	39.58
ذرت علوفه‌ای Silage Maize	8.95	18.07	8.42	13.16
سیب‌زمینی بهاره Spring Potato	6.64	17.01	6.73	18.56
گندم پاییزه Autumn Wheat	6.31	32.48	5.01	29.72
گوجه‌فرنگی Tomato	6.06	27.27	6.06	25.76
یونجه Alfalfa	-15.35	4.52	-16.47	4.83

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research Findings

بر اساس نتایج جدول (۹)، تغییرات درصدی سطح زیر کشت محصولات منتخب الگوی کشت، تحت تأثیر دو سناریوی اقلیمی (SSP1-2.6 و SSP3-7.0) و در دو حالت تاریخ کشت پایه و تاریخ کشت پیشنهادی بررسی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اتخاذ تاریخ‌های کشت بهینه‌شده منطبق با شرایط اقلیمی آینده منجر به تغییرات قابل‌توجهی در تخصیص سطح زیر کشت میان محصولات مختلف شده است. در سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، اعمال تاریخ کشت متفاوت باعث افزایش سطح زیر کشت محصولات با عملکرد سازگارتر ازجمله چغندرقند، سیب‌زمینی بهاره و گوجه‌فرنگی شده، درحالی‌که سطح زیر کشت جو به دلیل کاهش نسبی عملکرد و مزیت اقتصادی کاهش یافته است. در سناریوی بدبینانه (SSP3-7.0) نیز روند مشابهی دیده می‌شود، با این تفاوت که شدت تغییرات (مثبت یا منفی) بیشتر بوده است. به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهد که اتخاذ تاریخ کشت اصلاح‌شده نقش موثری در ارتقای کارایی الگوی کشت دارد، به‌طوری‌که افزایش سطح زیر کشت محصولات پربازده‌تر (نظیر گندم پاییزه و سیب‌زمینی بهاره) و کاهش سطح زیر کشت محصولات کم‌بازده یا با حساسیت بالا به تنش‌های اقلیمی (نظیر جو و یونجه) را به همراه داشته است. این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت مدیریت هم‌زمان تاریخ کشت و ساختار الگوی کشت در راستای سازگاری با شرایط اقلیمی آینده است.

پس از بررسی سطح زیر کشت، تأثیر تغییرات اقلیم بر سود خالص کشاورزان در ۲۵ سال مورد بررسی در دو تاریخ کشت پایه و متفاوت تحت سناریوهای اقلیمی مختلف ارزیابی شده است که نتایج آن در جدول (۱۰) ارائه شده است.

جدول ۱۰. تغییرات سود خالص کشاورزان نسبت به دوره پایه تحتشرایط کشت مختلف (میلیارد تومان)
Table 10- Changes in Farmers' Net Profit Relative to the Baseline Period under Different Cultivation Conditions (Billion Tomans)

شرایط کشت Cultivation Condition	SSP1-2.6	SSP3-7.0
شرایط کشت پایه Baseline Cropping Condition	-10.69	-139.72
شرایط کشت پیشنهادی Proposed Cropping Condition	73.13	12.55

Source: Research Findings مأخذ: یافته‌های تحقیق

یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از آن است که سود خالص حاصل از کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، دشت همدان–بهار، رقمی معادل ۱۴۱۱۳/۹۴ میلیارد تومان برآورد شده است. برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر سودآوری کشاورزان، تغییرات سود خالص در دو سناریوی اقلیمی (SSP1-2.6 و SSP3-7.0) و تحت دو حالت تاریخ کشت پایه و تاریخ کشت پیشنهادی تحلیل شد (جدول ۱۰). نتایج نشان داد که در صورت تداوم شرایط کشت پایه، سود خالص کشاورزان به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که در سناریوی خوش‌بینانه SSP1-2.6، زیان حدود ۱۰/۶۹ میلیارد تومان و در سناریوی بدبینانه SSP3-7.0، زیان تا ۱۳۹/۷۲ میلیارد تومان برآورد شد. این در حالی است که با تغییر تاریخ کشت و بهینه‌سازی الگوی کشت مطابق با شرایط اقلیمی پیش‌رو، سود خالص کشاورزان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و به ترتیب برابر با ۷۳/۱۳ و ۱۲/۵۵ میلیارد تومان محاسبه شد. این یافته‌ها بر ضرورت بازنگری در الگوی کشت منطقه و اتخاذ راهبردهای سازگار با تغییرات اقلیمی برای حفظ پایداری اقتصادی در بخش کشاورزی تأکید دارد. با تحلیل سناریوهای اقلیمی مختلف و پیشنهاد تاریخ‌های کشت متناسب با هر سناریو، امکان جبران بخشی از خسارات ناشی از تغییرات اقلیمی در این منطقه فراهم شد. نتایج مقایسه‌ای سناریوهای ایده‌آل و بحرانی نشان می‌دهد که در سناریوی بحرانی، علی‌رغم اعمال راهبرد تغییر تاریخ کشت، میزان جبران خسارات نسبت به سناریوی دیگر کمتر بوده است. این امر مؤید آن است که اگرچه تغییر تاریخ کشت به‌عنوان یک راهبرد سازگاری با تغییرات اقلیمی اثربخش است اما در شرایط بسیار بحرانی ممکن است به‌تنهایی برای مقابله با تمام آثار سوء تغییرات اقلیمی کافی نباشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی عملکرد گیاهان منتخب الگوی کشت دشت همدان–بهار برای دوره آتی (۲۰۲۶–۲۰۵۰) ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) و برای تاریخ کشت متفاوت هر محصول انجام شد. نتایج نشان داد که با توجه به تغییرات پارامترهای هواشناسی در ۲۵ سال مورد بررسی، تاریخ کشت مناسب که منجر به بالاترین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب می‌شود، در سناریوهای اقلیمی مختلف متفاوت است. همچنین میزان عملکرد دانه برای اکثر گیاهان در الگوی کشت منطقه در هر دو سناریو افزایشی بوده و بیشترین عملکردها مربوط به سناریوی SSP1-2.6 بوده است. بیشترین میزان تغییرات مثبت عملکرد مربوط به محصولات گندم پاییزه، جو و سیب‌زمینی بهاره با کشت در تاریخ‌های ۲۸ مهر، ۲۸ مهر و ۵ اردیبهشت است.

در این پژوهش، با هدف بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری، تاریخ کشت بهینه محصولات ارزیابی شد. نتایج حاکی از آن است که تاریخ کشت بهینه با تاریخ کشت متداول تفاوت معناداری داشته و کشت زودتر منجر به افزایش چشمگیر بهره‌وری مصرف آب شده است. با توجه به تغییرات اقلیمی پیش‌نگری‌شده و تأثیر متقابل عوامل اقلیمی بر عملکرد محصولات، تلاش شد تا با مدل‌سازی و پیش‌نگری روند تغییرات آتی، تاریخ کشت به‌گونه‌ای تنظیم شود که کمترین آسیب‌پذیری را در

برابر تغییرات اقلیمی نشان دهد. نتایج نشان می‌دهد که این رویکرد می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر در مدیریت پایدار محصولات کشاورزی در شرایط متغیر اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به اینکه میزان کاهش این پارامترها یکسان نیست، زمانی که نسبت عملکرد به تبخیر–تعرق فصلی بیشینه بود، به‌عنوان تاریخ کشت مناسب برای این هدف تعیین شد. هرچند این تحقیق در مورد عملکرد دانه و میزان بهره‌وری در تاریخ کشت متفاوت هر یک از محصولات منتخب الگوی کشت دشت همدان–بهار انجام شده است اما کارایی این مدل منحصر به این مورد نیست و این مدل ابزاری توانمند برای اعمال مدیریت‌های مختلف آب، خاک و گیاه است.

با توجه به روند کاهشی بارندگی و افزایش دمای متوسط در آینده نزدیک که به‌طور مستقیم بر عملکرد محصولات زراعی اثرگذار است، تنظیم زمان کشت به‌گونه‌ای که با این تغییرات همسو باشد، می‌تواند از بروز خسارات گسترده به کشاورزان جلوگیری کند. با این رویکرد، می‌توان از پتانسیل‌های موجود در اکوسیستم منطقه بهره‌برداری بهینه کرده و پایداری تولید محصولات کشاورزی را در شرایط اقلیمی متغیر تضمین کرد.

REFERENCES

Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6

Abdalhi, M. A., Jia, Z., Luo, W., Ali, O. O., & Chen, C. (2020). Simulation of canopy cover, soil water content and yield using FAO-AquaCrop model under deficit irrigation strategies. *Russian Agricultural Sciences*, 46, 279-288. https://doi.org/10.3103/S106836742003012X

Adavi, Z., Tadayin, M. R. & Baghbani, A. (2019). Predicting the impact of climate change on potato production in Fereydounshahr and evaluating adaptation strategies (variety and planting date change). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop and Horticultural Production and Processing*, 9(2), 79-98. (In Persian)

Afrozi, A. & Zare Abianeh, h. (2020). Investigating the agricultural water requirement under a combination of climate change scenarios, increasing irrigation efficiency, changing the cultivation pattern and developing early cultivars, case study: Hamedan-Bahar Plain. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), 61-75. (In Persian)

Ajaz, A., Taghvaeian, S., Lollato, R., Alderman, P. D., & Gowda, P. H. (2025). Gridded drought response assessment of winter wheat in Oklahoma using big data and AquaCrop-OS. *Science of The Total Environment*, 959, 178206. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178206

Akbari, E., Darvishi Boloorani, A., Verrelst, J., Pignatti, S., Neysani Samany, N., Soufizadeh, S., & Hamzeh, S. (2024). How global sensitive is the AquaCrop model to input parameters? A case study of silage maize yield on a regional scale. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1304611. https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1304611

Al-Lami, A. A. A. A., Al-Rawi, S. S., & Ati, A. S. (2023). Evaluation of the AquaCrop model performance and the impact of future climate changes on potato production under different soil management systems. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 54(1), 253-267. https://doi.org/10.36103/ijas.v54i1.1698

Alvar-Beltrán, J., Heureux, A., Soldan, R., Manzanas, R., Khan, B., & Dalla Marta, A. (2021). Assessing the impact of climate change on wheat and sugarcane with the AquaCrop model along the Indus River Basin, Pakistan. *Agricultural Water Management*, 253, 106909. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106909

Arvandi, S. (2024). The impact of climate change on investment in modern irrigation systems. *Journal of Drought and Climate Change Research*. (In Persian)

Asadi, E., Nasiran, A., Khodri Gharibvand, H. & Kehyani, S. (2023). Knowledge and perception of pasture users about the signs of climate change in the direction of sustainability of environmental resources (case study: villages in the central part of Najaf Abad city). *Geography and Environmental Sustainability*, 48(13), 13-3. (In Persian)

Babaian, E., Medirian, R., Khazanehdari, L., Karimian, M., Kozegaran, S., Kohi, M., Flamerzi, Y. & Malboosi, Sh. (2023). Rainfall prospects of Iran in the 21st century by using the statistical straw scale of the output of selected CMIP6 models by CMHyd software. *Earth and Space Physics*, 49(2), 431-449. (In Persian)

Bashiri Sadr, M., Akhbari, M., Faraji Rad, A. A., Abdolreza, & Borna, R. (2020). Geopolitical analysis of the effects of climate change on the sustainable development of Iran (moderating variable of political decisions). *Scientific and Research Quarterly Journal of New Perspectives in Human Geography*, 12(2), 133-152. (In Persian)

Baum, M. E., Licht, M. A., Huber, I., & Archontoulis, S. V. (2020). Impacts of climate change on the optimum planting date of different maize cultivars in the central US Corn Belt. *European Journal of Agronomy*, 119, 126101.

Borzo, F., Ramezani Edelali, H. & Kaviani, A. (2024). Effects of climate change and changing planting dates on spring wheat yield (Case study: Qazvin plain). *Water Management in Agriculture*, 11(1), 63-80. (In Persian)

Cui, X., & Xie, W. (2022). Adapting agriculture to climate change through growing season adjustments: Evidence from corn in China. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(1), 249-272.

Darzi Naftchali, A., & Karandish, F. (2016). rice cultivation management in Mazandaran province under climate change. *Iranian Journal Of Water Research In Agriculture (Formerly Soil And Water Sciences)*, 30(3), 333-346. (In Persian)

Dastgerdi, A., Memarian, H., Pourreza Bil&i, M., Makari, M. & Agakhani Afshar A. H. (2023). Evaluating the effects of climate change on precipitation & temperature variables using emission scenarios (case study: Kashmir climatic region). (In Persian)

Delqandi, M., Borumand Nesab, S,. Andrzian, B. & Masah Bowani, A. R. (2016). Strategies for adapting wheat to climate change conditions (case study: Ahvaz city). *Water and soil*, 30(1), 300-311. (In Persian)

Ding, Y., Wang, W., Zhuang, Q., & Luo, Y. (2020). Adaptation of paddy rice in China to climate change: The effects of shifting sowing date on yield and irrigation water requirement. *Agricultural Water Management*, 228, 105890.

Emdad, M.R., & Tafteh, A. (2021). Comparison of DSSAT and AQUACROP Models Performance for Wheat Yield Simulation. *Iranian Journal Of Irrigation And Drainage*, 15(1), 223-233. (In Persian)

Emdad, M.R., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2022). Efficiency of Aquacrop Model in Simulating Yield of Quinoa in Different Deficit Irrigation Managements. *Journal Of Water And Soil (Agricultural Sciences And Technology)*, 36(3), 319-331. (In Persian)

Eskander, S. M., & Fankhauser, S. (2020). Reduction in greenhouse gas emissions from national climate legislation. *Nature Climate Change*, 10(8), 750-756.

Eyini Nargeseh, H., Rahimi Moghadam, S., Azizi, Qarnjik, A. & Amiri, S. R. (2024). Adaptation of rainfed winter wheat to climate change in semi-arid and cold regions using optimal planting date and supplementary irrigation. *Agricultural Sciences Research in Arid Regions*. (In Persian)

Flores-Marquez, R., Vera-Vílchez, J., Verástegui-Martínez, P., Lastra, S., & Solórzano-Acosta, R. (2024). An evaluation of dryland ulluco cultivation yields in the face of climate change scenarios in the Central Andes of Peru by using the Aquacrop model. *Sustainability*, 16(13), 5428. https://doi.org/10.3390/su16135428

Gürkan, H. (2023). Evaluation of the impacts of climate change on sunflower with aquacrop model. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4), 933-947. https://doi.org/10.33462/jotaf.1240401

Haddadi Barforoshi, F., Ashurloo, D., Shakiba, A., Motakan, A. A. & Aghighi, H. (2024). The effect of climate change on the vegetation phenology of Lake Urmia basin using NOAA-AVHRR image time series. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 16(1), 1-14. (In Persian)

Hadi, M., Hashemkhani, M. & Irvani, E. (2022). Analysis of scientific research trends in the field of climate change in Iran. *Health and Environment*, 15(2), 361-378. (In Persian)

Haghnazari, Farzad, Ghanbarian, Mahshid, Sheini Dashtegol, ali, & Varnaseri Ghandali, Vida. (2020). Evaluation of sugarcane yield affected as irrigation level and fertilizer by using Aquacrop model. *Journal Of Crop Science Research In Arid Regions*, 2(1), 87-95. (In Persian)

Hayat Al-Ghayb Moghaddam, S. H., & Sadat Ashofte, P. (2019). Optimal management of surface water resources with WEAP: Considering the Bayesian approach due to climate change. *Iranian Soil and Water Research*, 50(2), 495-504. (In Persian)

Hoseini, S. M., Khoshravesh, M., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Norooz-Valashedi, R. (2025). Assessment of Climate Change Impacts and Planting Date under IPCC's Sixth Report Scenarios on Pea Performance Using the AquaCrop Model. *Journal of Water Research in Agriculture*.

Jafari, A., Bi Hamta, M. R., Maqbal M., Sufizadeh, S., Bazgir, S. & Karimi Ahmedabad, M. (2024). The effect of planting date and variety on growth stages, morphological traits, growth indices and yield of seed corn in Karaj city. *Beh Zra'i Kazwarsi (Abourihan Campus Agricultural Journal)*, 26(1): 17-34. (In Persian)

Jin, X., Li, Z., Feng, H., Ren, Z., & Li, S. (2020). Estimation of maize yield by assimilating biomass

and canopy cover derived from hyperspectral data into the AquaCrop model. *Agricultural Water Management*, 227, 105846.

Kalantar,V., Mosavi,S. H., Ebadi, M. T., Soltani, S. and Nemati Shishehgaran, N. (2025). Economic Assessment of Saffron Cultivation within the Framework of Climate Change Adaptation Strategies. *Saffron Agronomy and Technology*, 13(2), 125-139. https://doi.org/10.22048/jsat.2025.530222.1566

Kalantar,V., Mosavi, S. H. and Najafi Alamdarlo, H. (2025). A Strategic Approach to Water Resource Efficiency and Sustainable Agriculture in Arid Regions: The Role of Oleaster. *Agricultural Economics and Development*, 33(2), 197-238. https://doi.org/10.30490/aead.2025.367411.1667

Kamkar, B., Alaei Bazkiai, P., Alizadeh Dehkordi, P. & Amiri, E. (2022). Investigating changes in yield and water balance of rice in Gilan province under the influence of climate change. *Environmental Science Quarterly*, 20(2), 61-80. (In Persian)

Karrari Gharehbagh, Sh., Najafi Alamdarloo, H., Khalilian, S. & Delavar, M. (2023). Agro-Economic Survey on Quantitative and Qualitative Changes of Irrigation Water in Urmia Plain of Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 1: 89-130. (In Persian)

Kawasaki, K. (2019). Two harvests are better than one: double cropping as a strategy for climate change adaptation. *American Journal of Agricultural Economics*, 101(1), 172-192.

Khalaj, F. A. & Nasri, M. (2019). Investigating the yield and quality traits of some alfalfa cultivars in different harvest dates. *Agricultural researches in the edge of the desert*. (In Persian)

Khalili, R., Hekmatzadeh A. A., Panahi H. R. & Muntsari H. (2022). Investigating the effects of climate change on temperature and precipitation using the LARS-WG model (case study of Bashar River watershed). *Environmental Research and Technology*, 7(12): 129-142. (In Persian)

Khan Salari, S. & Mohammadi, S. A. (2023). Forecasting of extreme precipitation in Iran based on the Hamadi approach of CMIP6 models in the near future (2050-2026) with rank-based weighting. *Physics of Earth and Space*, 49(3), 727-746.

Khan, H., Khan, N., Khan, Z., Yingchun, H., Beifang, Y., Yaping, L., ... & Li, Y. (2025). Water and heat resource utilization influence cotton yield through sowing date optimization under varied climate. *Agricultural Water Management*, 313, 109491. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109491

Kheir, A. M., Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Al-Saif, A. M., Ammar, K. A., Attia, A., ... & Schillaci, C. (2021). Calibration and validation of AQUACROP and APSIM models to optimize wheat yield and water saving in arid regions. *Land*, 10(12), 1375. https://doi.org/10.3390/land10121375

Khichar, M. L., & Niwas, R. (2006). Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *Journal of Agrometeorology*, 8(2), 201-209.

Kumar, N., Poonia, V., Gupta, B. B., & Goyal, M. K. (2021). A novel framework for risk assessment and resilience of critical infrastructure towards climate change. *Technological Forecasting and Social Change*, 165, 120532.

Lee, M., Kim, H., Lee, J. Y., Yang, J. E., & Lim, C. (2022). A shift towards integrated and adaptive water management in South Korea: Building resilience against climate change. *Water Resources Management*, 36(5), 1611-1625.

Li, N., Li, Y., Yang, Q., Biswas, A., & Dong, H. (2024). Simulating climate change impacts on cotton using AquaCrop model in China. *Agricultural Systems*, 216, 103897. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103897

Li, Y., Li, N., Javed, T., Pulatov, A. S., & Yang, Q. (2024). Cotton yield responses to climate change and adaptability of sowing date simulated by AquaCrop model. *Industrial Crops and Products*, 212, 118319.

Lou, S. W., Dong, H. Z., Tian, X. L., & Tian, L. W. (2021). The" short, dense and early" cultivation of cotton in Xinjiang: history, current situation and prospect.

Majdami, m. & Barhani, a. (2021). Investigating the effect of planting date on yield, yield

components and growth indices in some varieties and lines of barley in Khuzestan region. *Journal of Crop and Plant Sciences*, 11(1), 113-131. (In Persian)

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391.

MAJO. (2023). Ministry of Agriculture Jihad Organization. Agricultural Statistics Yearbook 2023. Tehran: Ministry of Agriculture Jihad.

Moazzezi, F., Yavari, Gh.R., Mosavi, S.H., & Bagheri, M. (2020). assessing the impact of climate change on agriculture in Hamedan-Bahar plain with emphasis on water productivity and food security. *Journal Of Economics And Agriculture Development*, 34(3), 305-323. (In Persian)

Movahedi, R., Qadri Moqtadar, N., Bilali, H. & Shirkhani, M. (2019). Factors affecting farmers' skills in optimal use of agricultural water resources in Bahar city, Hamadan province. *Agricultural Education Management Research*, 10(47), 15-35. (In Persian)

Mohammadi, N., Sari-Saraf, B. & Rostamzadeh, H. (2023). Study of the trend and spatial analysis of the continuity of warm and cold periods based on SSPs scenarios in northwestern Iran. *Scientific Journal System*, 10(3), 183-204.

Motaghed, M., Asadi, A., Shabanali Femi, H. & Kalantari, Kh. (2022). Studying farmers' semantic understanding of climate change in small-scale exploitation units in Hamadan province. *Local development (rural-urban)*, 14(1), 233-253. (In Persian)

Nazari, R., Ramezani Etedali, H. & Daneshkar Arasteh, P. (2022). Evaluation of Maize yield and Water Footprint Variability by AquaCrop-GIS Model. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 14(1): 43-58. (In Persian)

Nemati Shishehgaran, N., Babaian, K. & Mianabadi, H. (2024). Assessing the uncertainty of monthly precipitation by using GCMs and quantitative map skew correction methods. *Water and Irrigation Management*, 14(2), 463-486. (In Persian) https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369044.1121

Neysi, Karim, Egdernezhad, Aslan, & Abbasi, Fariborz. (2023). evaluation of aquacrop model for corn simulation under different management of nitrogen fertilizer in Karaj. *Water And Soil Management And Modeling (Wsmm)*, 3(1), 26-41. (In Persian)

Nunes, H. G. G. C., Farias, V. D. S., Sousa, D. P., Costa, D. L. P., Pinto, J. V. N., Moura, V. B.,... & Souza, P. J. O. P. (2021). Parameterization of the AquaCrop model for cowpea and assessing the impact of sowing dates normally used on yield. *Agricultural Water Management*, 252, 106880. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106880

Oliaei, Mohammad Sadegh, Fasihi, Javad, Sepehrian, Hamid, & Almassi, Ziaeddin. (2018). urban development and pollution of groundwater resources (Case Study: Hamadan–Bahar Plain). *Environmental Sciences*, 15(4), 101-112. (In Persian)

OULHACI, D. (2024). Determination of water needs using the Cropwat and Aquacrop models for some crops in arid regions (Touggourt and Ouargla).

Pahloozadeh, A., Alemzadeh Ansari, N., Bahremand, N. & Mortazavi, M.H. (2018). The Effect Of Growth Retardants And Planting Date On Some Characteristics Of The Transplant, Plant And Fruit Of Tomato. *Journal Of Crop Production And Processing*, 8(1), 127-140. (In Persian)

Paul, S., Chakraborty, D., Padaria, R., & Tripathi, A. K. (2023). A comparison between climate change perceptions and meteorological observations to improve the understanding of adaptation decisions in shifting cultivation. *Theoretical and Applied Climatology*, 153(3), 1139-1155. https://doi.org/10.1007/s00704-023-04521-1

Pazoki, Alireza, Karaminejad, Mohammad, & Foladi Targhi, Alireza. (2011). effects of planting dates and genotypes on yield of Saffron (Crocus Sativus L.) In Natanz Region. *Crop Physiology*, 2(8), 3-12. (In Persian)

Pesarkalo, A., Biabani, A., Yarahamdi, S., Saberi, A. R. naeimi, m. & Tallai, F. (2023). The effect of planting date on yield and quality characteristics of autumn sugar beet cultivars in Gonbad Kavus region. *Plant Ecophysiology Applied Research*, 7(13), 93-110. (In Persian)

Qamari, a., Khorrami Wafa, m., Nosrati, e. & Zulnouriyan, H. (2022). The effect of planting date on the yield of two potato cultivars in the climatic conditions of Kermanshah. *Iranian Plant Sciences*, 53(4), 149-164. (In Persian)

Raes, D., Fereres, E., Vila, M. G., Curnel, Y., Knoden, D., Çelik, S. K., ... & Wellens, J. (2023). Simulation of alfalfa yield with AquaCrop. *Agricultural Water Management*, 284, 108341. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108341

Rahbani, M. P. (2024). A comprehensive review of the Sixth Report on Climate Change and drawing modeled pathways to limit global warming. *Taagh*, 4(9), 16-25. (In Persian)

Raihan, A. (2023). A review of the global climate change impacts, adaptation strategies, and mitigation options in the socio-economic and environmental sectors. *Journal of Environmental Science and Economics*, 2(3), 36-58.

Ramezani, M., Babazadeh, H., & Sarai Tabrizi, M. (2019). Simulating Barley Yield under Different Irrigation Levels by using AquaCrop Model. *Irrigation Sciences And Engineering (Jise) (Scientific Journal Of Agriculture)*, 41(4), 161-172. (In Persian)

Rao, K. N., Gadgil, S., Rao, P. S., & Savithri, K. (2000). Tailoring strategies to rainfall variability–The choice of the sowing window. *Current Science*, 1216-1230.

Raoufi, R. S., & Soufizadeh, S. (2020). Simulation of the impacts of climate change on phenology, growth, and yield of various rice genotypes in humid sub-tropical environments using AquaCrop-Rice. *International Journal of Biometeorology*, 64, 1657-1673. https://doi.org/10.1007/s00484-020-01946-5

Rezaei, H., Pashapour, H. A. & Sadeghi, F. (2024). Performance evaluation of CMIP6 models and forecasting temperature and precipitation changes under common socio-economic trajectory (SSP) scenarios in Iran. *Strategic Futures Studies Quarterly*, 3(10), 7-30.

Rezaie, B., Hosseinpanahi, F., Siosemardeh, A., Darand, M., & Bannayan, M. (2022). Shifting the sowing date of winter wheat as a strategy for adaptation to climate change in a Mediterranean-type environment. *International Journal of Plant Production*, 16(4), 595-610. https://doi.org/10.1007/s42106-022-00202-7

Rosero, A., Granda, L., Berdugo-Cely, J. A., Šamajová, O., Šamaj, J., & Cerkal, R. (2020). A dual strategy of breeding for drought tolerance and introducing drought-tolerant, underutilized crops into production systems to enhance their resilience to water deficiency. *Plants*, 9(10), 1263. https://doi.org/10.3390/plants9101263

Rouhani, Siavash, Peykani Machiani, Gh.R., & Taghdiri, B. (2007). determination of optimum cropping pattern with the emphasis on sustain ability of water resources: A Case Study In Bahar Plain- Hamedan. *Agricultural Research*, 7(1), 85-96. (In Persian)

Saadati, Z., Delbari, M., Panahi, M., Amiri, E., Rahimian, M. H. & Qudsi, M. (2016). Evaluation of the effects of climate change on the growth period and evapotranspiration of wheat using the CERES-Wheat model (case study: Mashhad). *Science of Water and Soil*, 26 (No. 3, Section 1), 67-79. (In Persian)

Saber Ali, S. F. (2023). Response of growth and yield of winter wheat to planting date and amount of nitrogen consumption. *To Agro Agriculture*, 25(2), 405-418. (In Persian)

Sadeghi, B., Farhadi Bansouleh, B., Bafkar, A., & Ghobadi, M. (2022). effect of planting date on yield and water productivity of sunflower using Aquacrop model. *Journal Of Water And Soil (Agricultural Sciences And Technology)*, 36(2), 185-196. (In Persian)

Salarieh, P., Khoshroosh, M., Norouz Valashdi, R. & Kiani, A. A. (2021). Investigating the effect of climate change and planting date on corn yield using the WOFOST model. *Iranian Soil and Water Research*, 52(10), 2515-2527. (In Persian)

Salarieh, P., Khoshrosh, M., Norouz Valashdi, R. & Kiani, A. (2024). Evaluation of climate change scenarios and cropping date changes on corn water productivity in Gorgan County. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 18(2), 227-235. (In Persian)

Salimi, M., Hosseinpour, M. & Dodangeh, B. (2023). Investigating the importance of renewable energies in a successful energy transition in Iran based on the SWOT management analysis model. *Journal of Renewable and New Energies*, 10(1), 97-109. (In Persian)

Sarabi, M., Dasturani, M. T. & Zarrin, A. (2021). The effect of future climate change on the hydrological response in the Mashhad Torag Dam watershed. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 3(4), 310-330.

Sari Saraf, B., Bayati Khatibi, M. & Faraji, M. (2024). Data mining of the role of air pollutants (nitrate and nitrite oxide) in temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station using multi-layer perceptron neural network machine learning and logistic regression. *Ecohydrology*, 11(2), 223-248. (In Persian)

Sari Saraf, B., Rostamzadeh, H. & Mohammadi, N. (2023). Studying the trend and forecasting of temperature changes using CMIP6 models in northwest Iran. *Climatological Research*, 1402(54), 87-104. (In Persian)

Seidan, S. M., & Sadeghi, M. (2022). The effect of irrigation water salinity and production factors on potato yield in Hamedan, Bahar Plain. *Environmental Research and Technology*, 7(11), 27–35. (In Persian)

Sha, J., Li, X., & Wang, Z. L. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3), 3027–3039. https://doi.org/10.1007/s00704-019-02781-4

Shabani, M. K., Abedi Kopaei, J., Eslamian, S. S. & Gohari, S. A. (2023). The effect of changing cropping patterns and improving the efficiency of irrigation systems on reducing groundwater withdrawals under climate change scenarios (Case study: Kavar Plain). *Irrigation Science and Engineering*, 46(1), 47-63. (In Persian)

Shabanzadeh-Khoshrody, M., Azadi, H., Ahangarkolaee, S. S., Fauconnier, M. L., Grahić, J., & Sklenička, P. (2023). Water shortage and optimal pattern of field cropping cultivation: Addressing economic and environmental concerns in Qazvin Plain, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 399, 136512. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136512

Shahbazi Kia, S., Ghorbani Dashtaki, Sh., Yarahamdi, J., Estwari, Y. & Mirzaei, S. (2023). Forecasting changes in precipitation and temperature of Tabriz synoptic station during the period of 2020-2100. *Climatology Research*, 1401(52), 125-142. (In Persian)

Shahinejad, B., Kakav&, A., Yonesi, H. & Yousefi, H. (2022). Downscaling of Precipitation & Temperature Using CanESM2 Model Based on RCP Scenarios (case study: Horrood River). *IRANIAN JOURNAL OF ECOHYDROLOGY*, 9(3), 657-673. (In Persian)

Shakeri Bostan Abad, R., Rafiee, H., & Haji Mirza, H. (2018). Investigating the role of risk grouping in analyzing the effects of government policies on the cultivation pattern of Nahavand and Bahar in Hamedan Province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 49(4), 607–619. https://doi.org/10.1001.1.20084838.1397.49.4.4.0

Sharifi, A. (2021). Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of the total environment*, 750, 141642. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141642

Sivakumar, M. (2021). Climate change, agriculture adaptation, and sustainability. Climate resilience and environmental sustainability approaches: Global Lessons and Local Challenges, 87-109.

Soleimani Sardo, F. & Misbahzadeh, T. (2021). Forecasting temperature & precipitation using climate change scenarios & statistical exponential microscale models (case study: southern Kerman province). *Environmental Research*, 11(22), 97-110. (In Persian)

Soltani, Sh., Mousavi, S. H. A., Khalilian, p. & Najafi Alamdarlu, h. (2023). Evaluation of the effects of climatic changes and fluctuations on the economic surplus of producers and consumers of the agricultural sector in Hamadan-Bahar plain. *Economic Research and Agricultural Development of Iran*, 54(1), 53-72. (In Persian)

Sun, G. Q., Li, L., Li, J., Liu, C., Wu, Y. P., Gao, S., ... & Feng, G. L. (2022). Impacts of climate change on vegetation pattern: Mathematical modeling and data analysis. *Physics of Life Reviews*, 43, 239-270.

Thompson, M., Gamage, D., Hirotsu, N., Martin, A., & Seneweera, S. (2017). Effects of elevated carbon dioxide on photosynthesis and carbon partitioning: a perspective on root sugar sensing

and hormonal crosstalk. *Frontiers in Physiology*, 8, 578. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00578

Umesh, B., Reddy, K. S., Polisgowdar, B. S., Maruthi, V., Satishkumar, U., Ayyanagoudar, M. S., ... & Veeresh, H. (2022). Assessment of climate change impact on maize (Zea mays L.) through aquacrop model in semi-arid alfisol of southern Telangana. *Agricultural Water Management*, 274, 107950.

Vaez Madani, M.A., Fakheri Fard, A., & Majnooni Heris, A. (2019). Using Combined AquaCrop Model and Thomas-Fering Method in Analyzing Rainfed Wheat Yield. *Water And Soil Science (Agricultural Science)*, 29(3), 95-108. (In Persian)

Wale, A., Dessie, M., & Kendie, H. (2022). Evaluating the performance of AquaCrop model for potato production under deficit irrigation. *Air, Soil and Water Research*, 15, 11786221221108216.

Wang, X., Folberth, C., Skalsky, R., Wang, S., Chen, B., Liu, Y., ... & Balkovic, J. (2022). Crop calendar optimization for climate change adaptation in rice-based multiple cropping systems of India and Bangladesh. *Agricultural and Forest Meteorology*, 315, 108830. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108830

Wellens, J., Raes, D., Fereres, E., Diels, J., Coppye, C., Adiele, J. G., ... & Heng, L. K. (2022). Calibration and validation of the FAO AquaCrop water productivity model for cassava (Manihot esculenta Crantz). *Agricultural Water Management*, 263, 107491.

Wu, H., Yue, Q., Guo, P., Xu, X., & Huang, X. (2022). Improving the AquaCrop model to achieve direct simulation of evapotranspiration under nitrogen stress and joint simulation-optimization of irrigation and fertilizer schedules. *Agricultural Water Management*, 266, 107599. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107599

Xie, Z., Kong, J., Tang, M., Luo, Z., Li, D., Liu, R., ... & Zhang, C. (2023). Modelling winter rapeseed (Brassica napus L.) growth and yield under different sowing dates and densities using AquaCrop model. *Agronomy*, 13(2), 367.

Zarrin, A. & Dadashi Rudbari, A. A. (2021). Forecasting Iran's temperature in the near future (2021-2040) based on CMIP6 multi-model approach. *Natural Geography Research*, 53(1), 75-90. (In Persian)

Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A. & Hassani, S. (2021). Historical variability and future changes in seasonal extreme temperature over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 1227-1248. (In Persian)

Zhai, Y., Huang, M., Zhu, C., Xu, H., & Zhang, Z. (2022). Evaluation and application of the AquaCrop model in simulating soil salinity and winter wheat yield under saline water irrigation. *Agronomy*, 12(10), 2313.

Zhang, C., Gao, J., Liu, L., & Wu, S. (2024). Simulating the effects of optimizing sowing date and variety shift on maize production at finer scale in northeast China under future climate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(6), 3637-3647. https://doi.org/10.1002/jsfa.13247

Zhang, C., Xie, Z., Wang, Q., Tang, M., Feng, S., & Cai, H. (2022). AquaCrop modeling to explore optimal irrigation of winter wheat for improving grain yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, 266, 107580.

Zhang, Z., Li, Y., Chen, X., Wang, Y., Niu, B., Li Liu, D., ... & Meng, Q. (2023). Impact of climate change and planting date shifts on growth and yields of double cropping rice in southeastern China in future. *Agricultural Systems*, 205, 103581. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103581