

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

چکیده

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی قرن حاضر، اثرات 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 گردید. 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 مؤثری 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 آبربر 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 به‌همراه داشته‌است. 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 اثرات منفی تغییرات اقلیمی و افزایش پایداری تولیدات کشاورزی باشد.

کلید واژه‌ها: تاریخ کشت، تغییرات اقلیمی، سازگاری، سودآوری، دشت همدان - بهار

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

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 Hamedan-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.

Keywords: *Cropping Date, Climate Change, Adaptation, Profitability, Hamaden-Bahar Plain*

مقاله پذیرفته شده در مجله انتشار

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 اثرات نامطلوب تغییر اقلیم و افزایش تاب‌آوری آن‌ها در برابر این تغییرات است. برای سازگاری با این شرایط، اقدامات مختلفی از جمله 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 نه تنها مستقیماً با بهره‌وری آب و حفظ عملکرد محصولات کشاورزی در ارتباط است، بلکه زمینه‌ساز پایداری سایر روش‌های سازگاری از جمله 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. در واقع، 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 ایفا می‌کند.

ایران به‌عنوان کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به‌شدت تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است. از جمله پیامدهای تغییرات اقلیمی در ایران می‌توان به افزایش دما، کاهش بارندگی، تشدید خشکسالی‌ها و وقوع پدیده‌های شدید آب‌وهوایی مانند گردوغبار و سیلاب اشاره نمود (سلیمانی ساردو و مصباح‌زاده، ۱۳۹۹؛ شاهی نژاد و همکاران، ۱۴۰۱؛ شهبازی‌کیا و همکاران، ۱۴۰۱؛ خلیلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ دستگردی و همکاران، ۱۴۰۲؛ اسدی و همکاران، ۱۴۰۲؛ ساری صراف و همکاران، ۱۴۰۳). برای سازگاری با این چالش‌ها، دولت و متخصصان ایرانی راهکارهای مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مدیریت بهینه منابع آب (حیات الغیب مقدم و سادات آشفته، ۱۳۹۸)، توسعه کشاورزی پایدار (بشیری صدر و همکاران، ۱۳۹۹)، استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری (اروندی، ۱۴۰۳)، تغییر الگوی کشت (شعبانی و همکاران، ۱۴۰۲)، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر (سلیمی و همکاران، ۱۴۰۲)، افزایش پوشش گیاهی (حدادی بارفروشی و همکاران، ۱۴۰۳)، ارتقای آگاهی عمومی (رهبانی، ۱۴۰۲) و حمایت از تحقیقات در زمینه تغییر اقلیم (هادی و همکاران، ۱۴۰۱) 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 گردیده است. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر الگوی زراعی منطقه، در جدول (۱) سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی را در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ بر اساس آمار رسمی ارائه گردیده است (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲).

محصول	سطح زیر کشت
سیبزمینی بهاره	۱۴۳۰۲
جو	۷۶۶۶
گندم پاییزه	۵۷۰
چغندر قند	۱۳۳۴۷
ذرت علوفه‌ای	۴۸
یونجه	۶۶
گوجه‌فرنگی	۱۶۷۸۸

منبع: وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲

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 ۱۴۰۱-۱۳۹۶ (تن در هکتار)

سال محصول	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
سیبزمینی بهاره	۴۱/۲۱	۴۴/۰۸	۴۳/۶۰	۴۶/۷۲	۳۷/۷۵	۳۸/۹۹
جو	۳/۱۲	۴/۳۸	۴/۴۲	۳/۹۹	۳/۹۰	۳/۷۶
گندم پاییزه	۴/۴۵	۵/۳۱	۴/۸۹	۴/۹۸	۳/۹۴	۲/۶۳
چغندر قند	۴۷/۱	۵۱/۴۶	۶۲/۱۸	۵۷/۱۸	۵۱/۷۵	۴۸/۱۵
ذرت علوفه‌ای	۹۱/۰۷	۸۰/۳۷	۶۰/۰۴	۵۴/۲۷	۴۹/۰۹	۴۵/۷۴
یونجه	۱۱/۹۲	۱۳/۳۴	۱۵/۰۰	۱۱/۶۲	۱۰/۲۳	۱۰/۲۰
گوجه‌فرنگی	۱۴/۱۴	۱۷/۲۵	۳۶/۷۹	۴۴/۸۱	۳۸/۶۳	۳۵/۵۲

منبع: وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲

بر اساس داده‌های جدول (۱)، عملکرد محصولات زراعی در سال‌های مختلف نوسانات قابل توجهی داشته است. برای مثال، عملکرد سیبزمینی بهاره از ۴۱/۲۱ تن در هکتار در سال ۱۳۹۶ به میزان ۴۶/۷۲ تن در سال ۱۳۹۹ افزایش پیدا کرده است، اما در سال‌های بعد کاهش یافت و در سال ۱۴۰۱ به ۳۸/۹۹ تن رسید. عملکرد گندم پاییزه نیز با نوسان‌های شدیدی مواجه بوده و از ۵/۳۱ تن در هکتار در سال ۱۳۹۷ به ۲/۶۳ تن در سال ۱۴۰۱ کاهش یافته است (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۴۰۲). این نوسانات طبق مطالعات گذشته می‌تواند ناشی از عوامل متعددی نظیر تغییرات اقلیم (کالانتر و همکاران، ۱۴۰۴)، منابع آبی (سیدان و صادقی، ۱۴۰۱)، و یا مدیریت زراعی (شاکری بستان آباد و همکاران، ۱۳۹۷) باشد.

دشت همدان - بهار به‌عنوان یکی از مناطق کشاورزی مهم ایران، به‌شدت تحت‌تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است. افزایش دما، کاهش بارندگی، تشدید خشکسالی‌ها و تغییرات در الگوهای بارندگی، از جمله چالش‌های اصلی این منطقه هستند (معتقد

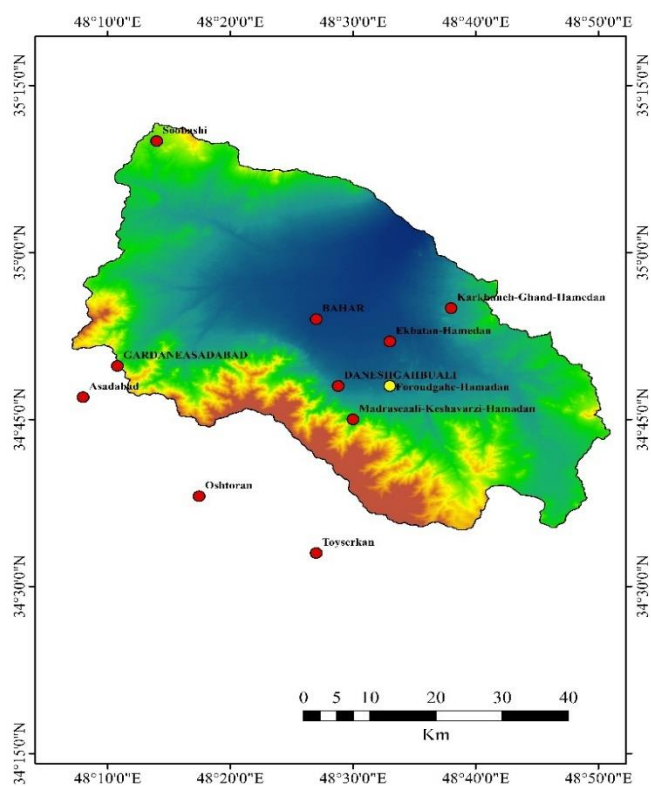
و همکاران، ۱۴۰۱). این تغییرات، بر منابع آب زیرزمینی، کشاورزی، محیط زیست و اقتصاد منطقه تأثیر گذاشته و منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی، تخریب خاک، افزایش شوری آب‌ها و مهاجرت روستاییان شده است (معززی و همکاران، ۱۳۹۹). برای سازگاری با این بحران، محققین راهکارهای مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مدیریت بهینه منابع آب (علیائی و همکاران، ۱۳۹۶)، توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار (روحانی و همکاران، ۱۳۸۶)، تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آب‌بر (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۲)، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی (افروزی و زارع، ۱۳۹۹)، حذف چاه‌های غیر مجاز (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۲) و آموزش کشاورزان (موحدی و همکاران، ۱۳۹۷) اشاره کرد.

تغییر تاریخ کشت محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از راهکارهای مهم سازگاری با تغییر اقلیم در جهان و ایران موردتوجه قرار گرفته است (ادوی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سالاریه و همکاران، ۱۴۰۰؛ صادقی و همکاران، ۱۴۰۱؛ عینی نرگسه و همکاران، ۱۴۰۲؛ برزو و همکاران، ۱۴۰۳؛ سالاریه و همکاران، ۱۴۰۳؛ Lou et al. 2021؛ Nunes et al. 2021؛ Xie et al. 2023؛ Li et al. 2024). 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 رشد رویشی و زایشی گیاهان و نهایتاً بر عملکرد محصول تولیدی تأثیر می‌گذارد (بازکی و همکاران، ۱۳۸۹). تغییر اقلیم با تغییر فنولوژی و فیزیولوژی گیاه، بیلان آب در خاک، تبخیر و تعرق بارندگی بر رشد و در نتیجه عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (درزی نفت چالی و کاراندیش، ۱۳۹۵) و با تغییر در تاریخ کاشت، پارامترهای اقلیمی نیز در طول دوره رشد تغییر می‌کنند. حتی می‌توان گفت که تاریخ کشت گیاه، مراحل فنولوژیکی گیاه و کل تولید زیست‌توده را کنترل نموده و در کارایی تبدیل زیست‌توده به عملکرد مؤثر است (Khichar & Niwas, 2006). به طور 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 پیش‌نگری 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; Sirli 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 محققین ارائه و پیشنهاد شده است. بااین‌حال، تغییر تاریخ کشت به‌عنوان یکی از ساده‌ترین و قابل‌اجراترین راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم، موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. در این راستا، مطالعه حاضر جهت پاسخ‌گویی به این سؤال که آیا تغییر تاریخ کشت می‌تواند استراتژی مناسبی جهت سازگاری با اقلیم باشد و یا خیر، طراحی و انجام شد. این پژوهش باهدف ارزیابی تأثیر تغییر تاریخ کاشت بر عملکرد محصول در شرایط اقلیمی دشت مورد مطالعه، صورت پذیرفته است. باتوجه به سهم قابل‌توجه محصولات آب‌بر در الگوی کشت منطقه، این پژوهش بر روی محصولاتی چون جو، چغندر قند، 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.

روشناسی تحقیق

به منظور پاسخگویی به سؤال تحقیق و متناسب با ادبیات تحقیق، ابتدا شبیه‌سازی دو پارامتر اصلی اقلیم یعنی دما و بارش برای دوره‌های آتی انجام گرفت. در این پژوهش، برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی، از مدل^۱ LARS-WG 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 به جهت ارزیابی اعتبار نتایج شبیه‌سازی شده از LARS-WG، داده‌های تاریخی بارندگی، حداقل دما و حداکثر دمای ایستگاه تحقیقات فرودگاه (همدان) در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ باز تولید شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در محدوده مطالعه را نمایش می‌دهد که داده‌های اقلیمی مشاهداتی آن‌ها به عنوان ورودی مدل‌سازی اقلیم پایه مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از شاخص‌های آماری پیرسون، میانگین خطای مطلق^۲ و خطای جذر میانگین مربعات^۳، اعتبار مدل جهت شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده ارزیابی شد (روابط ۱ تا ۳).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان)

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

رابطه ۱)

¹ Long Ashton Research Station – Weather Generator

² Mean Absolute Error (MAE)

³ Root Mean Square Error (RMSE)

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

رابطه ۲

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

رابطه 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 قرار می‌گیرند. مدل‌های GCM به‌جهت شبیه‌سازی الگوهای مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوهای مختلف اقلیمی آینده‌نگر توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها 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 پایگاه داده‌های شبکه تغییر اقلیم کانادا (Canadian Climate Data) استخراج گردید. انتخاب این مدل‌ها با استناد به مطالعات پیشین (زرین و همکاران، ۱۴۰۱؛ صلاحی و همکاران، ۱۴۰۲؛ بابائیان و همکاران، ۱۴۰۳؛ نعمتی شیشه‌گران و همکاران، ۱۴۰۳؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰؛ رضائی و همکاران، ۱۴۰۳) و باهدف پوشش جامع تغییرات اقلیمی انجام شد.

جدول ۳. مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CMIP6

شماره	مدل	مؤسسات تحقیقاتی تدوین‌کننده مدل‌ها
۱	MRI-ESM2-0	Japan
۲	BCC-CSM2-MR	China
۳	CNRM-CM6-1-HR	France
۴	GFDL-ESM4	USA
۵	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 قدر مطلق خطا (MAPE) و خطای میانگین مربعات (MSE) ارزیابی شد. در این پژوهش، خروجی روزانه مدل منتخب GCM برای متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر به‌عنوان ورودی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG جهت پیش‌نگری تغییر اقلیم برای دوره‌آتی 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 باتوجه‌به مطالعات پیشین و باهدف بررسی طیف وسیعی از تغییرات اقلیمی انتخاب شدند (سرائی و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدی و همکاران، ۱۴۰۲؛ ساری صراف و همکاران، ۱۴۰۲؛ خان سالاری و محمدی، ۱۴۰۲؛ رضائی و همکاران، ۱۴۰۳).

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

رابطه ۴

⁴ General Circulation Models (GCMs)

⁵ Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

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

رابطه ۵

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

رابطه ۶

شبیه‌سازی عملکرد گیاه در دو دوره زمانی (دوره اقلیم پایه و دوره‌های آبی) تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم با استفاده از مدل AquaCrop استفاده شد. یکی از مزایای این مدل، ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی 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 مؤثری برای تحلیل اثرات اقلیمی در سطح مزرعه محسوب می‌شود (دلقندی و همکاران، ۱۳۹۵؛ سعادت و همکاران، ۱۳۹۵)؛ کامکار و همکاران (۱۴۰۱)؛ نیسی و همکاران (۱۴۰۲)؛ (Ma et al. (2017؛ Alvar-Beltrán et al. (2021؛ Wale et al. (2022؛ Al-Lami et al. (2023؛ Li et al. (2024).

در ادامه و با بکارگیری داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر در سناریوهای مختلف اقلیمی، 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 (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ واعظ مدنی و همکاران، ۱۳۹۸؛ حق نظری و همکاران، ۱۳۹۹؛ امداد و تافته، ۱۴۰۰؛ امداد و همکاران، ۱۴۰۱؛ نظری و همکاران، ۱۴۰۱؛ کراری قره باغ و همکاران، ۱۴۰۲) و خارجی (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) قرار گرفته است.

در این مطالعه جهت 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، به طور کمی توصیف نماید. در گام نخست، با بهره‌گیری از معادله استاندارد فائو - پنمن - مانتیث^۶ (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 گردید. این معادله، یکی از معتبرترین روش‌های برآورد تبخیر-تعرق مرجع (ET_۰) است که به‌طور گسترده برای محاسبه نیاز آبی گیاهان در مطالعات مرتبط با مدیریت منابع آب و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم به‌کار می‌رود. این محاسبات، به‌عنوان یکی 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 گیاه منتخب در شرایط فعلی و آینده اقلیمی، از مدل AquaCrop استفاده شد. این فرآیند شامل دو مرحله اصلی بود: (۱) کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل بر اساس داده‌های مزرعه‌ای واقعی، و (۲) اجرای مدل برای پیش‌نگری عملکرد تحت سناریوهای اقلیمی آبی. 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 کشت شده از طریق

^۶ FAO-56 Penman-Monteith equation

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 گردید. این داده‌ها به‌منظور کالیبراسیون پارامترهای مدل و ارزیابی صحت شبیه‌سازی در شرایط فعلی مورد به‌کارگرفته‌شد. در مرحله دوم، برای پیش‌نگری 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) استفاده‌شد. در این مرحله، مدل با فرض ثابت‌ماندن مدیریت زراعی (مانند رقم گیاهی و الگوی آبیاری) و با استفاده از پارامترهای کالیبره‌شده از مرحله پیشین اجرا گردید (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. به‌این‌صورت که در مدل Aquacrop، به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در تاریخ‌های کاشت مختلف، داده‌های مربوط به تاریخ‌های کاشت 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 کاشت اعمال شده، شبیه‌سازی و ارائه نماید. این واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه به تغییر تاریخ کاشت، که در قالب تغییر در رشد و عملکرد نهایی ظاهر می‌شود، نوعی سازگاری به‌شمار می‌آیند که به گیاه امکان می‌دهد در شرایط متغیر اقلیمی و محدودیت منابع، بقاء 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 ۴. درصد پارامترهای ژنتیکی ورودی مدل شبیه‌سازی

محصول	درصد ضرایب ژنتیکی
جو	عملکرد دانه: ۴۵٪
	ارتفاع بوته: ۵۵٪
	مقاومت به بیماری‌ها: ۵۰٪
چغندر قند	محتوای قند: ۶۰٪
	عملکرد ریشه: ۵۰٪
ذرت علوفه‌ای	عملکرد علوفه: ۶۰٪
	ارتفاع بوته: ۷۰٪
سیب‌زمینی بهاره	عملکرد غده: ۳۵٪
	مقاومت به بیماری‌ها: ۴۰٪
کندم پاییزه	عملکرد دانه: ۵۰٪
	ارتفاع بوته: ۶۰٪
	مقاومت به بیماری‌ها: ۴۰٪

عملکرد میوه: ۶۰٪	کوجه‌فرنگی
محتوای مواد جامد محلول: ۷۰٪	
عملکرد علوفه: ۶۰٪	پونجه
ارتفاع بوته: ۷۰٪	
مقاومت به بیماری‌ها: ۵۰٪	

درصد اهمیت نسبی پارامترهای ژنتیکی در فرایند کالبراسیون 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. به عبارت دیگر، این ضرایب به عنوان 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 به گونه‌ای 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 گردید. 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^۷ انجام شد. این مدل به منظور تحلیل و شبیه‌سازی وضعیت اقتصادی دشت در آینده، با در نظر گرفتن عوامل مختلف از جمله 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 پیش‌نگری شده برای دوره آتی، تنظیم و کالیبره شده‌اند تا مدل بتواند به طور دقیق‌تر وضعیت اقتصادی دشت را شبیه‌سازی و تحلیل نماید.

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

st:

$$Y_i = f(CLIF, NCLIF) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\sum_{i=1}^9 X_i \leq T_{Lan} \quad \text{رابطه ۹}$$

⁷ Positive Mathematical Programming (PMP)

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

رابطه ۱۰)

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

رابطه ۱۱)

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

رابطه ۱۲)

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

رابطه ۱۳)

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

رابطه ۱۴)

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

رابطه ۱۵)

$$X_i, X_s \geq 0$$

رابطه ۱۶)

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 به صورت 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 شبیه‌سازی شده هر یک از محصولات زراعی موجود در الگوی کشت، مطابق باهدف مطالعه و بر اساس داده‌های حاصل از مدل AquaCrop در مرحله دوم، استخراج گردید و به عنوان ورودی مدل توسعه یافته منطقه در قالب دو سناریوی موردنظر به کار گرفته شد. در ساختار مدل، شاخص اقلیمی CLIF (نظیر متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر، غلظت دی‌اکسیدکربن و تبخیر - تعرق مرجع) و شاخص غیر اقلیمی NCLIF (نظیر ویژگی‌های گیاهی، مدیریت آبیاری و خاک) لحاظ شدند. مدل مذکور با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در منطقه، از جمله محدودیت‌های منابع زمین (T_{Lan})، آب (T_{Wat})، نیروی کار (T_{Lab})، ماشین‌آلات (T_{Mac})، کود (T_{Fert}) و سرمایه (T_{Inv})، فرمول‌بندی شده است. این محدودیت‌ها به صورت 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 موردنظر تضمین گردد. همچنین، محدودیت غیرمنفی 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. در مجموع، مدل ارائه شده 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 دست یافت که منجر به حداکثر شدن سوددهی کل فعالیت‌های زراعی در منطقه گردد.

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 مشاهده شده در سال مرجع را دارا می‌باشد؛ به بیان دقیق‌تر، پارامترهای تابع هزینه در PMP طوری کالیبره می‌شوند که حل هدف مدل با الگوی کشت واقعی منطقه تطابق یابد و پس از آن 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 پیش‌نگری‌شده (y_i) برای هر محصول به‌ازای هر تاریخ کشت تحت سناریوهای اقلیمی آینده، به‌عنوان ورودی‌های تولید به مدل PMP وارد شدند؛ تابع هدف PMP حداکثرسازی سود خالص منطقه را به‌صورت جمعی از درآمدهای محصول منهای هزینه‌ها مدل‌سازی می‌کند و این بهینه‌سازی تحت قیود منابع مانند کل زمین قابل کشت، 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 y_i های جدید (نتایج AquaCrop برای تاریخ‌های کشت متفاوت و سناریوهای اقلیمی) مدل پاسخ اقتصادی منطقه، شامل سطوح بهینه زیرکشت، 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) مؤید این ادعا 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. از سوی دیگر، مقدار بالای ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای تمامی متغیرها، نشان از همبستگی قوی و قابل‌قبول بین این دودسته داده دارد. 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 ایجاد شده توسط مدل

شاخص‌های آماری	بارش	دمای بیشینه	دمای کمینه
RMSE	۱/۴۱	۰/۳۸	۰/۳۲
MAE	۱/۰۸	۰/۲۴	۰/۱۸
MBE	۰/۳۵	-۰/۰۲	-۰/۰۳
NS	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۹
p	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج انتخاب بهترین مدل AOGCM

همان‌طور که در بخش روش‌شناسی ذکر شد، انتخاب مدل گردش عمومی جو (AOGCM) مناسب، نقش تعیین‌کننده‌ای در دقت پیش‌نگری‌های تغییرات اقلیمی دارد. در این پژوهش، باهدف انتخاب مناسب‌ترین مدل AOGCM، دوره مشترک میان خروجی مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی برای متغیرهای اقلیمی بارش، دمای حداقل و حداکثر در هر ایستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، با بهره‌گیری 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 پیش‌نگری بارش و دمای متوسط در ایستگاه مورد مطالعه، به عنوان مدل پایه برای تولید سناریوهای اقلیمی آینده انتخاب گردید. نتایج حاصل از این مدل، در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج ارزیابی انتخاب بهترین مدل منطبق بر منطقه

مدل	MAE		MAPE		MSE	
	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما
MRI-ESM2-0	۰/۰۲۴	۰/۰۵۸	۷۰/۸۹	۲/۷۷	۷۱/۷۵	۰/۳۹
BCC-CSM2-MR	۰/۰۲۰	۰/۰۵۲	۵۳/۷۱	۴/۷۸	۵۷/۰۸	۰/۴۲
CNRM-CM6-1-HR	۰/۰۱۴	۰/۰۵۴	۳۹/۷۲	۵/۶۰	۳۴/۷۳	۰/۶۷
GFDL-ESM4	۰/۰۰۷	۰/۰۵۱	۳۵/۳۳	۴/۴۸	۱۰/۹۵	۰/۳۵
MPI-ESM1-2-HR	۰/۰۰۹	۰/۰۵۴	۳۸/۶۱	۵/۶۶	۱۴/۵۹	۰/۳۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

متغیرهای اقلیمی تولید شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

پس از ارزیابی دقت مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) در پیش‌نگری 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 نظرگیری دوره پایه ۱۹۹۰-۲۰۱۴، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای SSP1-2.6 (ایده‌آل) و SSP3-7.0 (بحرانی) برای پیش‌نگری داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰ تولید شدند. داده‌های تولید شده 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)، به‌طور کلی روند افزایشی دما و کاهش بارندگی تحت تمامی سناریوهای اقلیمی پیش‌نگری شده است. بر اساس داده‌های ریزمقیاس شده LARS-WG و جدول (۷)، میانگین دمای سالانه در تمامی سناریوها افزایش قابل توجهی 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 قابل توجهی بر منابع آب، کشاورزی و اکوسیستم‌های منطقه داشته باشد.

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

سناریو	بارش (میلی‌متر)	دمای حداقل (سانتی‌گراد)	دمای حداکثر (سانتی‌گراد)
پایه	۳۰۲/۳۶	-۰/۰۱	۱۸/۴۱
SSP1-2.6	۲۹۳/۲۰	۰/۵۰	۱۸/۸۵
SSP3-7.0	۲۷۹/۷۹	۰/۷۹	۱۹/۶۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مدل واسنجی شده AquaCrop برای تاریخ کشت‌های مختلف و بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۲) ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) استان همدان اجرا گردید. مقادیر عملکرد دانه برآورد شده بر اساس سناریوهای اقلیمی SSP1-

2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7.0 برای تاریخ کشت‌های موردبررسی و دوره زمانی پایه و آتی جدول (۸) ارائه شده است. با استناد به یافته‌های پژوهش، روند کلی عملکرد دانه محصولات مورد مطالعه، علی‌رغم نوسانات جزئی، طی دوره بررسی، گرایش به افزایش داشته است. به‌منظور کنترل متغیرهای دخیل در آزمایش، نمونه‌های خاک و گیاه همگن شده و تاریخ کشت به گونه‌ای تنظیم گردید 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، به ویژه دما و بارندگی، عامل اصلی تفاوت در عملکرد گیاهان تحت سناریوهای اقلیمی مختلف می‌باشد. تغییرات پارامترهای هواشناسی (تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET₀)، دمای هوا و بارش) در بازه زمانی مورد مطالعه نشان داد که در این مدت چهار پارامتر اقلیمی (تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET₀)، 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 طرفی افزایش میزان کربن دی‌اکسید کربن باعث افزایش میزان فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (Thompson et al. 2017). با در نظرگیری روند نزولی بارش سالانه در منطقه، تاریخ کشت محصولات به گونه‌ای 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، منجر به ارتقای عملکرد دانه محصولات شده است. به نظر می‌رسد تأثیر مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و تأمین رطوبت کافی خاک از طریق مدیریت تاریخ کشت، بر اثرات 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 باهدف افزایش عملکرد انتخاب شده است. تاریخ‌های پیشنهادی بر اساس شواهد میدانی، توصیه‌های محلی، مطالعات گذشته‌نگر در اقلیم‌های مشابه، و همچنین نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop تعیین شدند. معیار اصلی انتخاب این تاریخ‌ها، بیشینه‌سازی عملکرد محصول و انطباق‌پذیری با شرایط اقلیمی آینده بوده است. براین اساس، تاریخ کاشت پایه برای گندم پاییزه و جو ۱۳ مهر و تاریخ پیشنهادی ۲۸ مهر تعیین شد. برای چغندر قند، تاریخ کاشت پایه ۱۰ فروردین و تاریخ پیشنهادی ۲۵ اسفند سال قبل، برای سیب‌زمینی بهار، تاریخ پایه ۱۷ فروردین و تاریخ پیشنهادی ۶ اردیبهشت، برای ذرت علوفه‌ای، تاریخ پایه ۲۱ 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 ۶ اردیبهشت تعیین گردید. این تاریخ‌ها در شبیه‌سازی‌های مدل عملکرد محصول به کار گرفته شده و پایه تصمیم‌گیری در تحلیل سناریوهای مدیریتی قرار گرفتند.

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

محصول	تاریخ کشت پایه (الف)	تاریخ کشت متفاوت (ب)	عملکرد پایه	سناریوی SSP1-2.6		سناریوی SSP3-7.0	
				(الف)	(ب)	(الف)	(ب)
جو	5 Oct	20 Oct	۳/۷۷	۳/۶۷	۴/۱۷	۴/۱۱	
چغندر قند	30 Mar	15 Mar	۴۸/۱۵	۴۸/۲۰	۵۳/۰۱	۴۸/۰۶	
ذرت علوفه‌ای	10 May	25 May	۴۵/۷۴	۴۶/۷۲	۴۸/۶۷	۴۶/۴۳	
سیب‌زمینی بهار	5 Apr	25 Apr	۳۸/۹۹	۳۸/۹۸	۴۲/۸۵	۳۸/۶۰	
گندم پاییزه	5 Oct	20 Oct	۲/۶۳	۲/۵۸	۲/۹۲	۲/۵۶	

۳۶/۳۷	۳۴/۴۱	۳۶/۹۴	۳۴/۷۳	۳۵/۵۲	20 Feb	30 Mar	گوجه‌فرنگی
۱۰/۴۰	۱۰/۱۲	۱۰/۶۰	۱۰/۱۷	۱۰/۳۰	25 Apr	5 May	یونجه

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از تغییرات عملکرد دانه باتوجه به تاریخ کشت در هر سال است. میانگین عملکرد دانه برای تاریخ کشت‌های موردبررسی در هر سناریوی اقلیمی برای ایستگاه مذکور 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 (۱ مهر)، ۱۰ درصد (۳۰ مهر) و ۹/۵ درصد (۵ اردیبهشت) به دست آمد که این تاریخ کشت‌ها نسبت به تاریخ کشت‌های واقعی در منطقه نتیجه بهتری برای شاخص ارزیابی عملکرد نشان داده‌اند. همچنین نتایج تحلیل داده‌های عملکرد محصولات در تاریخ کشت پیشنهادی، بهبود قابل‌توجهی را در عملکرد محصولات نسبت به تاریخ کشت پایه را تحت تغییر اقلیم نشان خواهد داد. همان‌گونه که در جدول (۸) ارائه شده است، با اعمال تغییرات در تاریخ کشت محصولات، تطابق بهتری با شرایط اقلیمی پیش‌نگری‌شده در منطقه حاصل شد و در نتیجه، عملکرد محصولات در بسیاری از موارد بهبود خواهد یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییر تاریخ کشت محصولات می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر در افزایش تاب‌آوری محصولات نسبت به سناریوهای مختلف اقلیمی مدنظر قرار گیرد. این نتایج، اهمیت اعمال الگوهای کشت سازگار با شرایط اقلیمی متغیر را در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله دشت همدان - بهار بیش از پیش آشکار می‌سازد. نتایج این تحقیق از نظر توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب با تحقیقات سایر محققین همخوانی دارد (پهلوزاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ خلج و نصیری، ۱۳۹۷؛ مجدمی و بحرانی، ۱۴۰۰؛ قمری و همکاران، ۱۴۰۱؛ پسرکلو و همکاران، ۱۴۰۲؛ صابری، ۱۴۰۲؛ جعفری و همکاران، ۱۴۰۳).

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 روی 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 زیرکشت محصولات منتخب موردبررسی قرار می‌گیرد. این تحلیل با اتکا به عملکردهای شبیه‌سازی‌شده در دوره آتی، تحت دو سناریوی اقلیمی آینده‌نگر (SSP)، انجام گرفته و این بررسی به‌منظور ارزیابی نحوه تغییر ترکیب سطح زیرکشت در واکنش به تغییر تاریخ کشت تحت شرایط اقلیمی پیش‌رو انجام گرفته و چارچوب داده‌ای لازم برای مراحل بعدی مدل‌سازی اقتصادی را فراهم می‌کند. از این‌رو تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب شامل جو، چغندر قند، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی بهاره، گندم پاییزه، گوجه‌فرنگی و یونجه تحت شرایط تغییر زمان کاشت و سناریوهای اقلیمی موردبررسی در جدول (۹) آمده است.

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

سناریوی SSP1-2.6		سناریوی SSP3-7.0		محصول
تاریخ کشت پایه	تاریخ کشت متفاوت	تاریخ کشت پایه	تاریخ کشت متفاوت	

جو	-۶/۶۷	-۳/۳۴	-۸/۷۰	-۲/۵۲
چغندر قند	۴/۱۷	۴۵/۸۳	۶/۲۵	۳۹/۵۸
ذرت علوفه‌ای	۸/۹۵	۱۸/۰۷	۸/۴۲	۱۳/۱۶
سیب‌زمینی بهاره	۶/۶۴	۱۷/۰۱	۶/۷۳	۱۸/۵۶
گندم پاییزه	۶/۳۱	۳۲/۴۸	۵/۰۱	۲۹/۷۲
گوجه‌فرنگی	۶/۰۶	۲۷/۲۷	۶/۰۶	۲۵/۷۶
یونجه	-۱۵/۳۵	۴/۵۲	-۱۶/۴۷	۴/۸۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

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 مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اتخاذ تاریخ‌های کشت بهینه‌شده منطبق با شرایط اقلیمی آینده منجر به تغییرات قابل توجهی 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 از جمله چغندر قند، سیب‌زمینی بهاره و گوجه‌فرنگی شده، در حالی که 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. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که اتخاذ تاریخ کشت اصلاح‌شده، نقش مؤثری در ارتقای کارایی الگوی کشت دارد، به‌طوری‌که افزایش سطح زیر کشت محصولات پر بازده‌تر (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 در واقع تأثیری که تغییرات اقلیم بر سود خالص کشاورزان در ۲۵ سال مورد بررسی در دو تاریخ کشت پایه و متفاوت در شرایط سناریوهای اقلیمی مختلف خواهد داشت؛ مورد ارزیابی قرار گرفته به شرح جدول (۱۰) است.

جدول ۱۰. تغییرات سود خالص کشاورزان نسبت به دوره پایه تحت شرایط کشت مختلف (میلیارد تومان)

سناریوی SSP1-2.6	سناریوی SSP3-7.0	
-۱۰/۶۹	-۱۳۹/۷۲	شرایط کشت پایه
۷۳/۱۳	۱۲/۵۵	شرایط کشت پیشنهادی

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 گردید. این در حالی است که با تغییر تاریخ کشت و بهینه‌سازی الگوی کشت مطابق با شرایط اقلیمی پیش‌رو، سود خالص کشاورزان به‌طور قابل توجهی 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 گردید. 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 به تنهایی برای مقابله با تمام اثرات سوء تغییرات اقلیمی کافی نباشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی عملکرد گیاهان منتخب الگوی کشت دشت همدان - بهار، برای دوره‌آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۶) ایستگاه سینوپتیک فرودگاه (همدان) و برای تاریخ کشت متفاوت برای هر محصول انجام شده است. نتایج بیانگر این بود که باتوجه به تغییرات پارامترهای هواشناسی در ۲۵ سال موردبررسی، 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 اکثریت گیاهان درون الگوی کشت منطقه در هر دو سناریو افزایشی بوده است و بیشترین عملکردها برای سناریوی SSP1-2.6 بوده و همچنین بیشترین میزان تغییرات مثبت عملکرد مربوط به محصولات گندم پاییزه، جو و سیب‌زمینی بهاره با کشت در تاریخ‌های کشت ۱ مهر، ۳۰ مهر و ۳۰ مهر کشت می‌شود. در این پژوهش، باهدف بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری، تاریخ کشت بهینه محصولات مورد ارزیابی قرار گرفت. 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 گردیده است. باتوجه به تغییرات اقلیمی پیش‌نگری‌شده و تأثیر متقابل عوامل اقلیمی بر عملکرد محصولات، تلاش شد تا با مدل‌سازی و پیش‌نگری روند تغییرات آتی، تاریخ کشت به گونه‌ای تنظیم شود که کمترین آسیب‌پذیری را در برابر تغییرات اقلیمی از خود نشان دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر در مدیریت پایدار محصولات کشاورزی در شرایط متغیر اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد. باتوجه به این که میزان کاهش این پارامترها یکسان نیست، زمانی که نسبت عملکرد به تبخیر و تعرق فصلی بیشینه بود به‌عنوان تاریخ کشت مناسب برای این هدف تعیین گردید. هرچند که 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 به‌منظور اعمال مدیریت‌های مختلف آب‌و‌خاک و گیاه است. باتوجه به روند کاهشی بارندگی و افزایش دمای متوسط در آینده‌ای نزدیک که به طور مستقیم بر عملکرد محصولات زراعی اثرگذار است، تنظیم زمان کشت به گونه‌ای 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 نمود.

منابع

- 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.
- 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.
- Abedinpour, M. (2020). Evaluation of AquaCrop model in soybean cultivation under different planting dates and deficit irrigation treatments. *Iran Agricultural Research*, 39(2), 37-46.

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.

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.

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.

Alvar-Beltrán, J., Heureux, A., Soldan, R., Manzanar, 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.

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)

Baldi, L., Arfini, F., Calzolari, S., & Donati, M. (2023). CAP reform and GHG emissions: policy assessment using a PMP agent-based model.

Basiri 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)

Dastgardi, 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.

Gürkan, H. (2023). Evaluation of the impacts of climate change on sunflower with aquacrop model. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4), 933-947.

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., Khoshnavesh, 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., Mousavi, S. H., & Najafi Alamdarloo, H. (2025). Russian olive and improving water resource productivity: A strategic approach for agricultural sustainability in arid regions. *Agricultural Economics and Development*, [In Press]. <https://doi.org/10.30490/aead.2025.367411.1667>

Kamkar, B., Alaei Bazkiaei, 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.

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.

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.

Ministry of Agriculture Jihad Organization. (2023). 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)

Mohadi, 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)

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.

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.

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.

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. & Zulnouriyani, 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.

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.

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.

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)

Salahi, B., Saber, M. & the patriot Qala Joq, f. (2023). Simulating and forecasting the effects of climate change using some new SSP scenarios and CMIP6 models on rainfall changes in Ardabil city. *Geography and Environmental Studies*, 500(1), 0. (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., Khoshroosh, 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-Khoshroody, M., Azadi, H., Ahangarkolaei, 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.

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.

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.

Wellens, J., Raes, D., Fereres, E., Diels, J., Coppys, 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.

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.

Zarin, 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.

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.

مقاله پذیرفته شده در ژورنال انتشار

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.

مقاله پذیرفته شده در ژورنال انتشار