



Forecasting the Effect of Some Future Climatic Factors During of the Reproductive Period and Grain Yield of Some Rain Fed Wheat Cultivars in Khorramabad City

Kamran Haghiabi¹ | Mosa MeskarBashi^{2✉} | Majid Nabipour³ | Seyed Amir Mosavi⁴

1. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: K-haghi@irimo.ir
2. Corresponding Author, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: mmeskarbashee@scu.ac.ir
3. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.nabipour@scu.ac.ir
4. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: amirmosavi@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 15 September 2024
Received in revised form
6 January 2025
Accepted 19 May 2025
Published online 27 June 2025

Keywords:

Adaptation strategy
APSIM model
Climate change
LARS model
Temperature changes

ABSTRACT

Objective: This study aimed to investigate future changes in climatic factors during 2021–2024, 2041–2060, and 2061–2080 under scenarios RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5, and their effects on the reproductive period and grain yield of rain-fed wheat cultivars in Khorramabad.

Method: Climate projections were generated using the LARS-WG-V7 software and the HadCM3 model, based on 35 years of historical climate data (1987–2023). To predict changes in the reproductive period and grain yield, the APSIM model was employed, incorporating soil, crop, and management data. The output from LARS-WG-V7 served as input for APSIM. An experiment with a randomized complete block design and three replicates was conducted during 2021–2022 at the Lorestan Province Meteorological Department's research farm in Khorramabad, including three wheat cultivars: Qaboos, Kohdasht, and Aftab. Genetic coefficients were calibrated based on experimental data, and the model was localized accordingly. Model validation was performed using data from ten farms in Khorramabad.

Results: Climate scenario analysis revealed that, with increasing CO₂ concentrations (18–86%), minimum temperatures could rise by 10–43%, maximum temperatures by 6–21%, and precipitation by 2–20%. These climatic changes led to a reduction in the reproductive period: 0–1.3% in Qaboos, –1.7% to +1.7% in Aftab, and –1.1% to +2.7% in Kohdasht, depending on the scenario and period. Grain yield decreased on average by 15.6% to 42.2%. Under optimistic and moderate scenarios, Qaboos maintained higher yields than Aftab and Kohdasht; however, in pessimistic scenarios, Kohdasht showed the least decline, and Qaboos consistently outperformed others across climatic periods.

Conclusions: Since farmers cannot control climatic conditions, adopting suitable adaptation strategies—such as selecting optimal cultivars, adjusting planting dates, irrigation methods, and plant density—is vital for sustainable production. The APSIM model is a valuable tool for future forecasting, scenario development, and informed decision-making to enhance regional wheat production under changing climate conditions.

Cite this article: Haghiabi, K., MeskarBashi, M., Nabipour, M., & Mosavi, S. A. (2025). Forecasting the Effect of Some Future Climatic Factors During of the Reproductive Period and Grain Yield of Some Rain Fed Wheat Cultivars in Khorramabad City. *Journal of Crops Improvement*, 27 (2), 189-202.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.382374.2896>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.382374.2896>

Publisher: University of Tehran Press.



پیش‌بینی اثر برخی از عوامل اقلیمی آینده بر طول دوره زایشی و عملکرد برخی از ارقام گندم دیم در شهرستان خرم‌آباد

کامران حق‌آبی^۱ | موسی مسکرباشی^۲ | مجید نبی‌پور^۳ | سید امیر موسوی^۴

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: K-haghi@irimo.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mmeskarbashee@scu.ac.ir
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.nabipour@scu.ac.ir
۴. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف: پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تغییرات برخی از عوامل اقلیمی در شهرستان خرم‌آباد در دوره‌ها (۲۰۲۴-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰) و سناریوهای اقلیمی (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) آینده و اثر آن‌ها بر طول دوره زایشی و عملکرد دانه گندم دیم انجام شد.

روش پژوهش: برای پیش‌بینی تغییرات متغیرهای اقلیمی از نسخه هفتم نرم‌افزار لارس و الگوی HadCM3 و از داده‌های اقلیمی ۳۵ ساله (۱۹۸۷-۲۰۲۳) استان، به‌عنوان دوره پایه استفاده شد. جهت پیش‌بینی طول دوره زایشی و عملکرد دانه برخی از ارقام گندم دیم نیز از نسخه ۷/۱ مدل اِپسیم استفاده شد. ورودی‌های مدل داده‌های اقلیمی، خاکی، گیاهی و اطلاعات مدیریتی می‌باشد. بدین منظور از خروجی مدل لارس به‌عنوان ورودی مدل اِپسیم استفاده شد. جهت تهیه اطلاعات گیاهی، مدیریتی و خاکی آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار (ارقام قابوس، کوه‌دشت و آفتاب) و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی اداره کل هواشناسی استان لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. با استفاده از اطلاعات آزمایش مزرعه‌ای، ضرایب ژنتیکی ارقام شناسایی و مدل بر مبنای آن بومی‌سازی شد. جهت صحت‌سنجی و ارزیابی مدل در شرایط اقلیمی و مدیریتی مختلف نیز از داده‌های آزمایش‌های میدانی که ۱۰ مزرعه منتخب در شهرستان خرم‌آباد بود، استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۸۶-۱۸ درصد، دمای کمینه ۴۳-۱۰ درصد، دمای بیشینه ۲۱-۶ درصد و میزان بارش ۲۰-۲ درصد افزایش خواهد یافت. با افزایش عوامل اقلیمی مذکور، در دوره‌های اقلیمی آینده طول دوره زایشی رقم قابوس به‌طور متوسط بین صفر تا ۳/۱ درصد و در سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه تا بدبینانه بین ۱/۲ تا ۱/۸ درصد کاهش، خواهد یافت. در دوره‌های اقلیمی مختلف، طول دوره زایشی رقم آفتاب در بازه ۱/۷- تا ۱/۷+ و رقم کوه‌دشت ۱/۱- تا ۲/۷+ درصد تغییر خواهد یافت. با توجه به تغییر طول دوره زایشی، عملکرد دانه ارقام گندم دیم بسته به دوره و سناریوی اقلیمی به‌طور متوسط ۱۵/۶ تا ۴۲/۲ درصد کاهش خواهد یافت. در سناریوهای خوش‌بینانه و متوسط، میزان کاهش عملکرد دانه رقم قابوس نسبت به دوره پایه کم‌تر از ارقام آفتاب و کوه‌دشت بوده، اما در سناریوی بدبینانه روند تغییر کرده و میزان کاهش عملکرد دانه رقم کوه‌دشت کم خواهد بود. با این وجود، در سناریوی بدبینانه نیز در دوره‌های اقلیمی مختلف رقم قابوس عملکرد بالاتری نسبت به ارقام آفتاب و کوه‌دشت داشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به این که کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، لذا با اتخاذ استراتژی‌های سازگاری مناسب با شرایط اقلیمی منطقه (از جمله انتخاب رقم مناسب، تاریخ کاشت، روش آبیاری، تراکم مناسب و غیره) می‌توان اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد، نمو و تولید محصولات کشاورزی را کاهش داد. در این راستا استفاده از مدل زراعی اِپسیم نیز در پیش‌بینی، سناریوسازی و اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی می‌تواند راه‌گشا باشد.

کلیدواژه‌ها:

استراتژی سازگاری
تغییر اقلیم
تغییرات دما
مدل اِپسیم
مدل لارس

استناد: حق‌آبی، کامران؛ مسکرباشی، موسی؛ نبی‌پور، مجید و موسوی، سید امیر (۱۴۰۴). پیش‌بینی اثر برخی از عوامل اقلیمی آینده بر طول دوره زایشی و عملکرد برخی از ارقام گندم دیم در شهرستان خرم‌آباد. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۲)، ۱۸۹-۲۰۲.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.382374.2896>



۱. مقدمه

به دلیل وقوع پدیده تغییر اقلیم و در نتیجه آن افزایش دما و کاهش منابع آبی، میزان تولیدات بخش کشاورزی با نوسانات زیادی روبه‌رو شده است (فائو^۱، ۲۰۲۰). تأثیر پدیده تغییر اقلیم در اراضی دیم مناطق خشک و نیمه‌خشک بر میزان تولیدات کشاورزی بیش‌تر از مناطق دیگر می‌باشد (پاستور^۲ و همکاران، ۲۰۱۹)، که از مهم‌ترین دلایل آن افزایش دما، کاهش طول فصل رشد و تنش گرمایی می‌باشد (لهانی^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). روش‌های مختلفی جهت کمّی‌سازی عملکرد گیاهان زراعی و پیش‌بینی عوامل اقلیمی استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از دانش مدل‌سازی اشاره کرد (هاجرپور و همکاران، ۱۳۹۴). مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی ابزارهای مناسب در اتخاذ تصمیم‌گیری مناسب در سیستم‌های کشاورزی می‌باشند (متین^۴ و همکاران، ۲۰۱۴). مدل نمایش ساده‌شده یک سیستم به زبان ریاضی می‌باشد و مدل‌سازی فرایند ساخت چنین نمایشی را گویند (هولزورث^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به محدودیت‌های زمانی در استفاده از آزمایش‌های مستقیم زراعی، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد برای برآورد عملکرد محصولات و همچنین بهبود مدیریت بوم نظام‌های کشاورزی می‌تواند به صرفه‌جویی در زمان و هزینه منجر شود (هوکن^۶ و همکاران، ۲۰۱۷).

جهت بررسی و پیش‌بینی تغییرات عوامل اقلیمی از مدل‌های اقلیمی مختلفی استفاده می‌شود که تلفیق نتایج آن‌ها با مدل‌های شبیه‌سازی زراعی، امکان پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط اقلیمی آینده فراهم می‌سازد (لی^۷ و همکاران، ۲۰۱۵). نرم‌افزار لارس^۸ از جمله مدل‌های اقلیمی ریزمقیاس می‌باشد که با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی گذشته یا مشاهداتی ایستگاه، پارامترهای توزیع‌های احتمالاتی متغیرهای آب‌وهوایی و رابطه بین آن‌ها، داده‌های مربوط به دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مختلف آینده را تولید می‌کند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5)^۹ از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم سازمان ملل متحد^{۱۰}، ۲۰۱۴). سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی خوش‌بینانه تا بدبینانه بانام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 و در سه دوره زمانی (۲۰۴۰-۲۰۲۴، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) می‌باشند که براساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند.

مدل زراعی اِپسیم^{۱۱} نیز مدلی مکانیستیک که وضعیت یک مزرعه را از نظر شرایط خاکی و گیاهی با جزئیات مناسب شبیه‌سازی کرده و به‌عنوان ابزار مدیریتی می‌تواند در پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر میزان تولیدات گندم مورد استفاده قرار گیرد (هوکن و همکاران، ۲۰۱۷). این مدل می‌تواند با کمک به بهبود مدیریت ازجمله انتخاب رقم مناسب، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی (تاریخ کشت و تراکم گیاهی)، مدیریت کود نیتروژن، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول، موجبات افزایش عملکرد واقعی گیاهان زراعی در اقلیم فعلی و تغییر یافته را فراهم گرداند (دیوکتا^{۱۲} و

1. FAO
2. Pastor
3. Lohani
4. Matin
5. Holzworth
6. Hochman
7. Li
8. LARS-WG
9. Fifth Assessment Report
10. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
11. APSIM
12. Devkota

همکاران، ۲۰۱۵). ورودی‌های این مدل شامل داده‌های اقلیمی، خاکی، گیاهی و اطلاعات مدیریتی می‌باشد که جهت پیش‌بینی تولید در شرایط تغییر اقلیم از داده‌های خروجی مدل لارس می‌توان استفاده نمود. بنابراین با استفاده از مدل‌ها و با کمک آمار هواشناسی بلندمدت می‌توان رفتار گیاه را در شرایط بالقوه و تنش شبیه‌سازی نمود و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار داد (رضایی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). باتوجه به اهمیت و جایگاه رهیافت مدل‌سازی در بررسی اثر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی که مستلزم پایش عوامل ژنتیکی، محیطی و مدیریتی، کمی کردن تأثیر آن‌ها، پیش‌بینی عملکرد قابل‌برداشت و درنهایت تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد است، در این راستا، پژوهش حاضر باهدف بررسی تغییرات برخی از عوامل اقلیمی شهرستان خرم‌آباد تحت دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی آینده و تأثیر آن بر طول دوره رویشی گندم دیم^۲ با استفاده از ابزار اپسیم انجام شد.

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌گران گزارش کردند که میزان تولید گیاهان زراعی توسط عوامل متعددی محدود می‌شود که از جمله می‌توان به محدودبودن طول فصل رشد به‌علت وجود دمای نامناسب پایین و بالا، خشکی و توزیع نامناسب بارندگی اشاره کرد (ون ایترسوم^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). رای^۴ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که بیش از ۳۶ درصد از کاهش عملکرد گندم طی سال‌های متوالی به‌دلیل تغییرات عوامل اقلیمی است. برخی پژوهش‌گران نیز اظهار داشتند که افزایش دما و تنش گرمایی در طول دوره رشد گیاهان زراعی طی پدیده تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (اینس^۵ و همکاران، ۲۰۱۵؛ پراساد^۶ و جاگادیش^۷، ۲۰۱۵).

پژوهش‌گران معتقدند که مدل‌های گیاهان زراعی از جمله ابزارهای کلیدی برای مطالعه اثرات عوامل اقلیمی بر تولیدات گیاهی است (اینس و همکاران، ۲۰۱۵). مدل‌های زراعی به‌عنوان ابزاری کارآمد می‌تواند در افزایش درک کشاورزان و متخصصان از روابط موجود میان گیاه زراعی و محیط پیرامون و کمک به اتخاذ راه‌کارهای مدیریتی مناسب مؤثر باشد (اسنگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۵). هدف اصلی از مدل‌سازی گیاهان زراعی، به‌کارگیری آن‌ها برای پاسخ به سؤالات مختلف در ارتباط با سیستم‌های کشاورزی می‌باشد. این مدل‌ها امکان مطالعه تأثیر مدیریت مزرعه تولید زراعی در محیط‌های موردنظر را فراهم می‌آورد (دانگ^۹ و همکاران، ۲۰۱۴).

پژوهش‌گران طی مقایسه کارایی مدل اقلیمی لارس با سایر مدل‌ها، گزارش کردند که مدل مذکور در سطح اطمینان قابل‌قبول‌تری (۹۵ درصد)، در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی موفق بوده است (ماروماتیس^{۱۰} و هانسن^{۱۱}، ۲۰۱۵). نوید^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که دقت مدل لارس برای شبیه‌سازی دما و تشعشع از درجه عالی و برای متغیر بارش از درجه خیلی خوب برخوردار بود. پژوهش‌گران مدل‌های APSIM-Wheat و CERES-Wheat را در شرایط دیم برای پنج رقم گندم پاییزه

1. Rezaei
2. *Triticum aestivum* L.
3. Vanittersum
4. Ray
5. Innes
6. Prasad
7. Jagadish
8. Asseng
9. Dong
10. Mavromatis
11. Hansen
12. Navid

در پاکستان کالیبره و ارزیابی کردند (احمد^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). هر دو مدل توانستند که تاریخ‌های فنولوژیک، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و ماده خشک کل را با درجه عالی ($RMSE < 10$)، پیش‌بینی کنند و مقادیر اندازه‌گیری‌شده این شاخص‌ها در آزمایش مزرعه‌ای با مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل تطابق داشت ($D-index = 0.8$). نتایج این پژوهش‌ها، همچنین نشان داد که اگرچه با افزایش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن عملکرد گندم افزایش یافت، اما با افزایش هم‌زمان دی‌اکسیدکربن و دما از صفر تا پنج درجه سانتی‌گراد عملکرد آن بسته به شرایط محیطی می‌تواند تا ۶۰ درصد کاهش یابد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

شهرستان خرم‌آباد مرکز استان لرستان می‌باشد که در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی واقع شده است. ارتفاع آن نیز ۱۲۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. جهت پیش‌بینی میزان تغییرات متغیرهای اقلیمی در شهرستان خرم‌آباد مدل لارس (نسخه ۷) استفاده شد. ورودی‌های مدل چهار متغیر دماهای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر) و تابش خورشیدی (مگا ژول بر مترمربع بر روز) می‌باشد. بدین منظور، داده‌های هواشناسی روزانه دوره ۳۵ ساله از ایستگاه سینوپتیک شهرستان خرم‌آباد (از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۳) از بانک داده‌های سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید.

فرایند تولید داده‌های مصنوعی و پیش‌بینی با الگوی لارس در سه مرحله کالیبره کردن الگو، ارزیابی الگو و تولید (شبیه‌سازی) داده‌های مصنوعی انجام می‌شود. بدین منظور پس از آماده کردن فایل‌های ورودی و صحت‌سنجی داده‌ها، کالیبره و ارزیابی مدل با مقایسه داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده با مولد داده‌های هواشناسی موجود ایستگاه از طریق گزینه کیو تست انجام شد. با توجه به این‌که مدل لارس برای شبیه‌سازی متغیرها از دقت خیلی خوبی برخوردار بود، بنابراین با انتخاب مدل، سناریو و تعیین دوره زمانی موردنظر پیش‌بینی‌ها انجام شد. شبیه‌سازی تغییرات متغیرهای اقلیمی در آینده تحت سناریوهای اقلیمی جدید انتشار (خوش‌بینانه (RCP2.6)، متوسط (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) و در سه دوره اقلیمی (آینده نزدیک (۲۰۲۴-۲۰۴۰)، آینده متوسط (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و آینده دور (۲۰۸۰-۲۰۶۱)) و با استفاده از الگوی مدل HadCM3 انجام شد. لازم به ذکر است که در نرم‌افزار لارس، مدل‌های گردش عمومی مختلفی طراحی شده است که پژوهش‌گران گزارش کردند برای ارزیابی تغییرات عوامل اقلیمی مناطق مختلف از مدل HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم هادلی انگلستان می‌توان استفاده نمود (مارتین^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). الگوی HadCM3 دارای تفکیک افقی ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی تا ۳/۷ درجه طول جغرافیایی و ۱۹ لایه و مؤلفه اقیانوسی آن دارای تفکیک افقی ۱/۲۵ در ۱/۲۵ درجه و شامل ۲۰ لایه است. درنهایت نتایج حاصل از مدل برای متغیرهای غلظت دی‌اکسیدکربن، دماهای کمینه و بیشینه و بارش به نرم‌افزار اکسل انتقال داده شد و پس از رسم نمودارهای موردنظر، روند تغییرات میانگین داده‌های ماهانه و سالانه دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه در شهرستان خرم‌آباد بررسی شد.

جهت پیش‌بینی طول دوره رشد و عملکرد دانه ارقام گندم دیم در شرایط تغییر اقلیم در شهرستان خرم‌آباد از زیرمدل APSIM-Wheat (نسخه ۷/۱) استفاده شد. ورودی‌های مدل اپسیم داده‌های اقلیمی، خاکی، گیاهی و مدیریتی می‌باشد. بدین منظور از خروجی مدل اقلیمی لارس به‌عنوان ورودی مدل زراعی اپسیم استفاده شد. جهت تهیه اطلاعات گیاهی، مدیریتی و خاکی نیز آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی اداره کل هواشناسی استان لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. تیمارهای آزمایش سه رقم

1. Ahmed

2. Martin

گندم دیم (کوه‌دشت، آفتاب و قابوس) بودند که ارقام براساس غالبیت و سطح زیر کشت قابل‌توجه آن‌ها در منطقه مورد‌مطالعه انتخاب شدند. رقم آفتاب نسبت به بیماری‌های زنگ زرد، زنگ قهوه‌ای و فوزاریوم سنبله از مقاومت خوبی برخوردار است. از لحاظ ویژگی‌های مهم کیفیت نانوايي و عملکرد نسبت به رقم کوه‌دشت برتری دارد.

برای اجرای آزمایش، پس از عملیات آماده‌سازی زمین در نیمه دوم شهریورماه و تسطیح خاک با استفاده از فارور اقدام به احداث جوی و پشته گردید. هر واحد آزمایشی دارای شش خط کاشت به طول شش متر با فاصله ۲۲ سانتی‌متر بود که با اعمال فاصله حدود ۱/۵ سانتی‌متر روی ردیف، تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از کاشت حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیز کود فسفات‌آمونیم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات‌تریپل مصرف گردید و در طول فصل رشد نیز متناسب با نیاز کودی، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مرحله اوایل ساقه‌دهی به‌صورت سرک مصرف شد. عملیات کاشت بذور در ۱۵ آبان‌ماه (تاریخ کاشت بهینه) با استفاده از دستگاه کارنده انجام شد. علف‌های هرز مزرعه نیز به‌صورت دستی وجین شد و مزارع مورد‌مطالعه عاری از هرگونه آفات و بیماری بودند، لذا هیچ کنترلی انجام نشد. در طول فصل رشد تاریخ‌های فلولوژیک گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک ارقام ثبت شد و در انتهای فصل رشد نیز از دو ردیف وسط به‌اندازه یک مترمربع برای تعیین عملکرد دانه استفاده شد. معیار رسیدن بوته‌ها به مرحله بلوغ فیزیولوژیک و برداشت نهایی، سخت و سفت‌شدن بیش از ۵۰ درصد بذور و طلایی‌رنگ‌شدن بوته‌های موردنظر بود. بدین منظور بوته‌های موردنظر به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و درنهایت با ترازوی دیجیتالی (مدل AND-کشور ژاپن) عملکرد دانه و زیستی ارقام توزین گردید.

در نهایت با استفاده از داده‌های آزمایش مزرعه‌ای ضرایب ژنتیکی مدل برای گندم دیم تعیین و مدل پارامتریابی (کالیبراسیون) شد. جهت صحت‌سنجی و ارزیابی مدل در شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی نیز از داده‌های آزمایش‌های میدانی (۱۰ مزرعه منتخب) استفاده شد. بدین منظور جهت جمع‌آوری داده‌های خاکی، گیاهی و مدیریتی در شرایط واقعی (مدیریت مزرعه توسط کشاورزان)، ۱۰ مزرعه گندم در شهرستان خرم‌آباد، انتخاب و اقدام به تکمیل پرسش‌نامه شد. از طریق پرسش‌نامه اطلاعات تاریخچه مزرعه، عملیات کاشت، داشت و برداشت و چگونگی مدیریت مزرعه ثبت شد. همچنین به‌منظور بررسی وضعیت رشد ارقام در مزارع انتخاب‌شده، اطلاعات خاکی و گیاهی نیز ثبت شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. تغییرات متغیرهای اقلیمی در شهرستان خرم‌آباد تحت سناریوها و دوره‌های اقلیمی آینده

۴.۱.۱. غلظت دی‌اکسیدکربن

جدول (۱) نشان‌دهنده غلظت دی‌اکسیدکربن در شهرستان خرم‌آباد، در سناریوها و دوره‌های اقلیمی مورد‌مطالعه می‌باشد که میزان آن از ۳۶۳ پی‌پی‌ام در دوره پایه به ۴۳۰ تا ۴۴۲ پی‌پی‌ام در سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه (RCP2.6)، به ۴۳۵ تا ۵۲۴ پی‌پی‌ام در سناریوی اقلیمی متوسط (RCP4.5) و به ۴۸۷ تا ۶۷۷ پی‌پی‌ام در سناریوهای بدبینانه (RCP8.5)، افزایش پیدا خواهد کرد، لذا در ادامه تغییرات متغیرهای اقلیمی مختلف در غلظت‌های ۱۸ تا ۸۶ درصد دی‌اکسیدکربن بررسی شد.

جدول ۱. غلظت دی‌اکسیدکربن (پی‌پی‌ام) در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مختلف در شهرستان خرم‌آباد

دوره اقلیمی	سناریوی اقلیمی		
	خوش‌بینانه (RCP2.6)	متوسط (RCP4.5)	بدبینانه (RCP8.5)
۲۰۲۴-۲۰۴۰	۴۳۰/۰	۴۳۵/۰	۴۴۹/۰
۲۰۴۱-۲۰۶۰	۴۳۷/۰	۴۸۷/۰	۵۴۱/۰
۲۰۶۱-۲۰۸۰	۴۴۲/۰	۵۲۴/۰	۶۷۷/۰

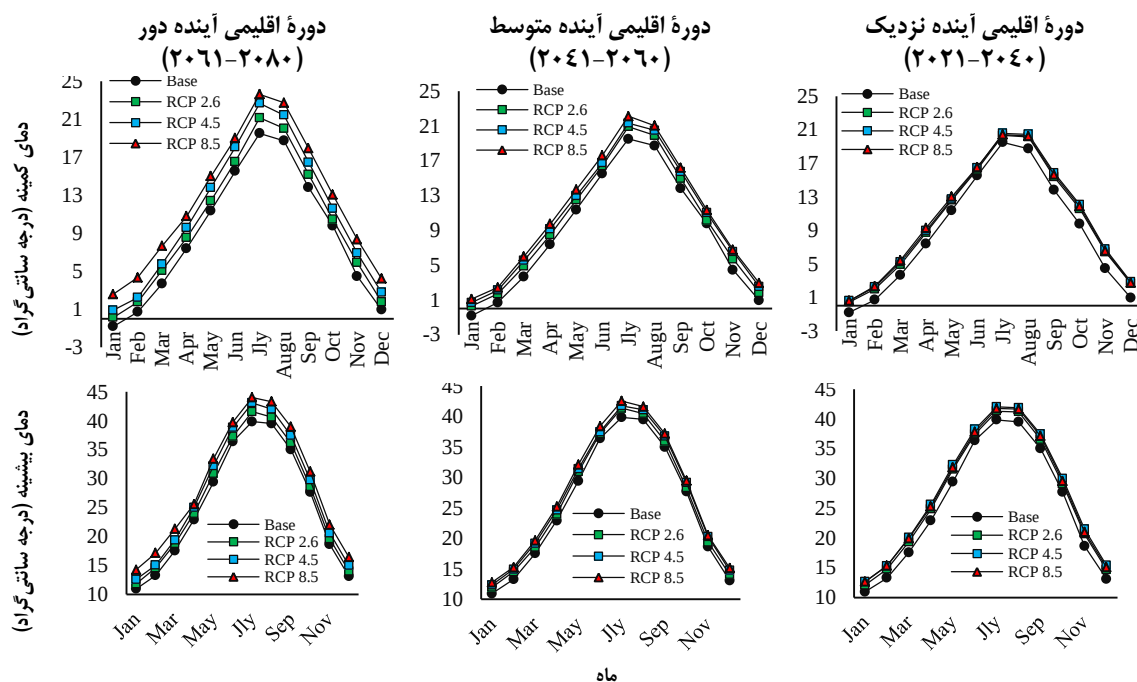
۴.۱.۲. دما

داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که در سال‌های آتی در همه سناریوهای مورد مطالعه (RCP 4.5، RCP2.6 و RCP 8.5)، دماهای کمینه و بیشینه در شهرستان خرم‌آباد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. دماهای کمینه و بیشینه به ترتیب با ۴۱/۲ و ۱۳/۹ درصد در دوره اقلیمی آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۹۹)، سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، بیش‌ترین افزایش را نسبت به دوره پایه و آینده متوسط (۲۰۴۱-۲۰۶۵) و آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، خواهد داشت (جدول ۲). در تمامی دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه دمای کمینه (۱۱/۴ تا ۴۱/۲ درصد)، بیش‌تر از دمای بیشینه (۳/۷ تا ۱۳/۹ درصد) افزایش خواهد یافت، لذا اختلاف دمای کمینه در آینده دور نسبت به آینده نزدیک، متوسط و دوره پایه بیش‌تر از دمای بیشینه خواهد بود. همچنین در آینده اختلاف دمای بیشینه و کمینه نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد که دماهای کمینه و بیشینه در تمام ماه‌های سال افزایش خواهد یافت که میزان این افزایش در هر سه سناریوی مورد مطالعه در ماه‌های ژانویه و فوریه (۱۱ دی‌ماه تا ۱۱ اسفندماه) و همچنین دسامبر (۱۱ آذرماه تا ۱۱ دی‌ماه) بیش‌تر از سایر ماه‌های سال خواهد بود (شکل ۱).

جدول ۲. پیش‌بینی درصد تغییرات متغیرهای مورد مطالعه در دوره و سناریوهای اقلیمی آینده در شهرستان خرم‌آباد

دوره اقلیمی	سناریوی اقلیمی (RCP)	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارش	تشنه	تعداد روزهای یخبندان	غلظت دی‌اکسید کربن
۲۰۲۴-۲۰۲۴	۲/۶	+۱۴/۹	+۶/۰	+۱۳/۰	+۱/۳	-۳۹/۱	+۱۸/۲
	۴/۵	+۱۱/۴	+۳/۸	+۱۴/۲	+۱/۴	-۳۴/۹	+۱۹/۶
	۸/۵	+۱۲/۶	+۴/۲	+۱۳/۸	+۱/۴	-۳۴/۲	+۲۳/۴
۲۰۴۱-۲۰۱۰	۲/۶	+۱۸/۱	+۸/۹	+۲/۷	+۲/۴	-۴۴/۷	+۲۱/۵
	۴/۵	+۱۸/۳	+۶/۱	+۱۷/۴	+۱/۴	-۴۶/۳	+۳۳/۹
	۸/۵	+۲۵/۱	+۸/۵	+۲۳/۱	+۱/۴	-۵۰/۸	+۴۸/۷
۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۶	+۱۸/۰	+۷/۹	+۱۲/۶	+۲/۰	-۴۴/۵	+۲۰/۱
	۴/۵	+۲۳/۹	+۸/۱	+۱۹/۴	+۱/۴	-۵۳/۲	+۴۴/۰
	۸/۵	+۴۱/۴	+۱۳/۹	+۲۰/۷	+۰/۹	-۷۶/۲	+۸۹/۱

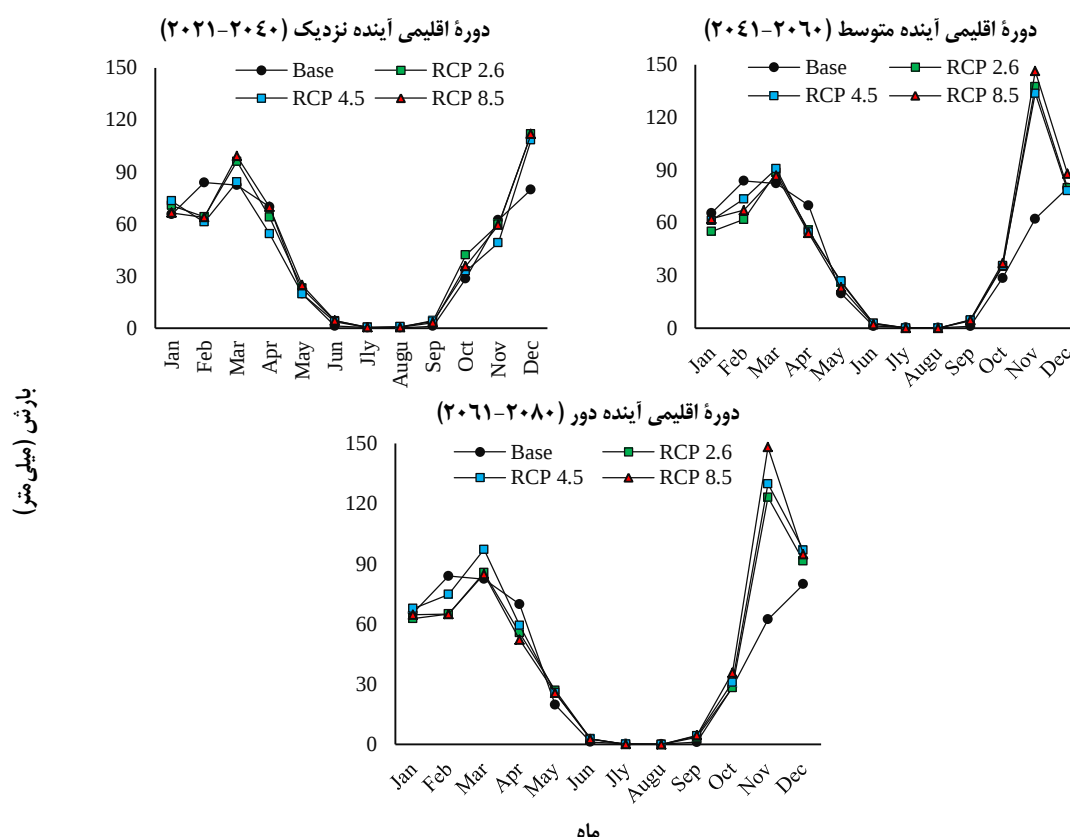
* علامت‌های منفی (-) و مثبت (+) به ترتیب نشان‌دهنده کاهش و افزایش متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد.



شکل ۱. پیش‌بینی تغییرات ماهانه دماهای کمینه و بیشینه در دوره‌های اقلیمی آینده و سناریوهای مختلف در شهرستان خرم‌آباد
* در شکل‌های بالا منظور از Base دوره پایه و RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب سناریوی خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه می‌باشد.

۳.۱.۴. بارش

داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که در دوره‌های آتی در همه سناریوهای مورد مطالعه (RCP 4.5، RCP2.6 و RCP 8.5)، میزان بارش در شهرستان خرم‌آباد نسبت به دوره پایه از ۲/۷ تا ۲۳/۱ درصد افزایش خواهد یافت (شکل ۲). در دوره اقلیمی آینده متوسط (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، بیش‌ترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه (۲۳/۱) مشاهده شد (جدول ۱). در تمامی دوره‌های مورد مطالعه در سناریوی بدبینانه RCP8.5 کم‌ترین میزان افزایش بارش و در دوره‌های آینده متوسط و دور بیش‌ترین افزایش بارش در سناریوی RCP4.5 و در آینده نزدیک در سناریوی RCP2.6 اتفاق خواهد افتاد (شکل ۲)، بنابراین در سناریوی بدبینانه با توجه به افزایش بیش‌تر دماهای کمینه و بیشینه، میزان افزایش بارش‌ها نسبت به سناریو خوش‌بینانه کم‌تر خواهد بود.



بارش (میلی‌متر)

ماه

شکل ۲. پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی آینده در شهرستان خرم‌آباد

* در شکل‌های بالا منظور از Base: دوره پایه و RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب سناریوی خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه می‌باشد.

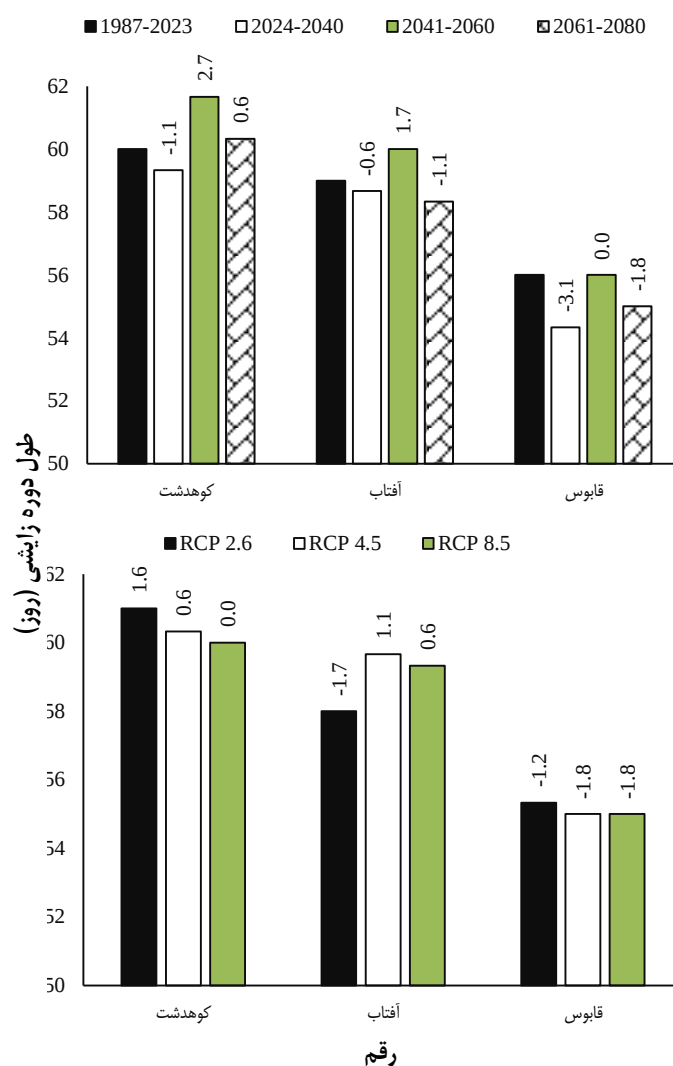
۲.۴. پیش‌بینی تغییرات طول دوره زایشی و عملکرد ارقام مورد مطالعه گندم دیم تحت سناریوها و دوره‌های

اقلیمی آینده

۲.۴.۱. طول دوره زایشی (از گلدهی تا پرشدن دانه)

نتایج نشان داد که طول دوره زایشی ارقام مورد مطالعه گندم نسبت به دوره پایه متغیر بود. در بین ارقام مورد مطالعه، طول دوره زایشی در رقم قابوس در دوره‌های اقلیمی مختلف به‌طور متوسط بین صفر تا ۳/۱ درصد و در سناریوهای اقلیمی

خوش‌بینانه تا بدبینانه بین ۱/۲ تا ۱/۸ درصد کاهش یافت. در دوره‌های اقلیمی مختلف طول دوره زایشی رقم آفتاب در بازه ۱/۷- تا ۱/۷+ و رقم کوهدشت ۱/۱- تا ۲/۷+ درصد متغیر خواهد بود (شکل ۳). لذا بسته به دوره و سناریوی اقلیمی میزان نوسانات طول دوره زایشی نسبت به رقم قابوس بیش‌تر خواهد بود. لشکری^۱ و همکاران (۲۰۱۲)، در یک بررسی در استان خراسان گزارش کردند که زمان کاشت تا گلدهی ذرت تحت سناریوها (A_1B و B_1 ، A_2) و مدل‌های اقلیمی مختلف ($IPCM_4$ و $HadCM_3$)، در سه دوره ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در مقایسه با دوره پایه از ۴ تا ۱۰- تغییر می‌کند. همچنین آن‌ها نشان دادند که دوره بلوغ فیزیولوژیک در مقایسه با دوره پایه در بین همه تاریخ کشت‌ها، دوره‌ها و سناریوها از ۱+ تا ۱۸- روز تغییر می‌کند.



شکل ۳. مقدار و درصد تغییرات طول دوره رشد زایشی ارقام گندم در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی آینده در شهرستان خرم‌آباد.

* اعداد درج شده روی هر ستون، نشان‌دهنده درصد تغییر صفت مذکور نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۲۳) می‌باشد.

* در شکل‌های بالا منظور از RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه می‌باشد.

۲.۲.۴. تغییرات عملکرد دانه

در شرایط بهینه مدیریتی میزان عملکرد دانه ارقام قابوس، آفتاب و کوه‌دشت به‌ترتیب ۴۰۷۷، ۳۶۴۷ و ۳۴۹۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). در تمام دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مورد مطالعه (به‌غیر از رقم آفتاب در سناریوی خوش‌بینانه (RCP4.5) و دوره اقلیمی متوسط (۲۰۴۱-۲۰۶۰)، عملکرد دانه ارقام گندم دیم نسبت به دوره پایه کاهش نشان داد (جدول ۳). در دوره‌های اقلیمی مورد مطالعه، به‌طور متوسط میزان کاهش عملکرد دانه ۱۵/۶ تا ۴۲/۲ درصد بود. نتایج نشان داد که درصد کاهش عملکردهای دانه در دوره اقلیمی دور (۲۰۸۰-۲۰۶۱) و سناریوی بدبینانه (RCP8.5) بیش‌تر خواهد بود. در سناریوی بدبینانه با وجود افزایش بارش‌ها (شکل ۲)، باتوجه به افزایش بیش‌تر دماهای کمینه و بیشینه (شکل ۱)، میزان تعرق و تنفس گیاه افزایش یافته و از سویی دیگر نیز با توجه به کاهش طول دوره رشد گیاه (شکل ۳)، عملکرد گیاهان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت (جدول ۳). در سناریوی خوش‌بینانه و متوسط میزان کاهش عملکرد دانه رقم قابوس نسبت به دوره پایه کم‌تر از ارقام آفتاب و کوه‌دشت بوده، اما در سناریوی بدبینانه روند تغییر کرده و میزان کاهش عملکرد دانه رقم کوه‌دشت کم بود. با این وجود در سناریوی بدبینانه نیز در دوره‌های اقلیمی مختلف رقم قابوس عملکرد بالاتری نسبت به ارقام آفتاب و کوه‌دشت تولید کرد. لذا می‌توان بسته به تغییرات آب و هوایی منطقه، با کاشت رقم مناسب در مدیریت تولید منطقه نقش داشت.

جدول ۳. میزان و درصد تغییرات عملکرد دانه ارقام گندم دیم در دوره و سناریوهای اقلیمی آینده در شهرستان خرم‌آباد

سناریوی اقلیمی (RCP)	دوره اقلیمی	مقدار (کیلوگرم در هکتار)			درصد تغییرات نسبت به دوره پایه		
		کوه‌دشت	آفتاب	قابوس	کوه‌دشت	آفتاب	قابوس
دوره پایه	۲۰۲۳	۳۴۹۲	۳۶۴۷	۴۰۷۶	-	-	-
RCP2.6	۲۰۲۴-۲۰۴۰	۳۱۸۷	۳۲۵۹	۴۰۰۲	-۹/۶	-۱۱/۹	-۱/۸
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۸۷۴	۳۶۹۰	۳۸۹۱	-۲۱/۵	+۱/۲	-۴/۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۹۲۱	۳۱۲۱	۳۶۷۷	-۱۹/۵	-۱۶/۹	-۱۰/۹
میانگین (RCP2.6)		۲۹۹۴	۳۳۵۷	۳۸۵۷	-۱۶/۹	-۹/۲	-۵/۸
RCP4.5	۲۰۲۴-۲۰۴۰	۳۰۱۱	۲۸۵۹	۳۶۵۱	-۱۶/۰	-۲۷/۶	-۱۱/۶
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۶۹۱	۲۶۶۱	۳۳۶۹	-۲۹/۸	-۳۷/۰	-۲۱/۰
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۹۰۰	۲۵۳۴	۲۹۲۸	-۲۰/۴	-۴۴/۵	-۳۹/۲
میانگین (RCP4.5)		۲۸۶۷	۲۶۸۱	۳۳۱۶	-۲۲/۱	-۳۶/۴	-۲۳/۹
RCP8.5	۲۰۲۴-۲۰۴۰	۲۸۷۹	۲۴۱۳	۲۹۲۲	-۲۱/۳	-۵۱/۱	-۳۹/۵
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲۵۰۱	۲۳۶۵	۲۷۴۱	-۳۹/۶	-۵۴/۲	-۴۸/۷
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲۴۵۴	۲۲۰۸	۲۴۸۴	-۴۲/۳	-۶۵/۲	-۶۴/۱
میانگین (RCP8.5)		۲۶۱۱	۲۳۲۹	۲۷۱۶	-۳۴/۴	-۵۶/۸	-۵۰/۸

* علامت منفی (-) نشان‌دهنده کاهش عملکرد ارقام نسبت به دوره پایه می‌باشد.

۵. بحث

پژوهش‌ها نشان داد که تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی، تنها محدود به افزایش متوسط مقادیر درجه حرارت و بارش نمی‌شود و فراوانی و شدت تغییر متغیرهای هواشناسی در فصل رشد از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد که بدون تردید درجه حرارت هوا مهم‌ترین پارامتر هواشناسی است که فرایندهای مختلف رویشی و زایشی گیاهان را تحت کنترل دارد (پرادن^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌گران طی بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم گزارش کردند که افزایش دما،

باعث افزایش شاخص درجه روز رشد^۱ و کاهش طول فصل رشد خواهد شد (هوسیان^۲ و موداسر^۳، ۲۰۱۹). پژوهش‌گران اظهار داشتند که افزایش دمای منطقه طی پدیده تغییر اقلیم به علت کاهش طول فصل رشد و تنش گرمایی باعث کاهش محصولات کشاورزی خواهد شد (لوهانی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). لال^۵ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما، حدود پنج روز زمان گلدهی را کاهش می‌دهد که زمان پرشدن دانه و عملکرد گندم در کشور هند تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین پژوهش‌گران اظهار کردند که افزایش دما در طول فصل رشد منجر به رشد سریع و گلدهی زودتر گیاه می‌شود (روبرت^۶ و سامرفید^۷، ۲۰۰۷).

پژوهش‌گران طی بررسی تغییرات آب‌وهوایی خراسان جنوبی در دوره اقلیمی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل ECHO-G گزارش کردند که در دوره مذکور میزان بارش استان چهار درصد افزایش، تعداد روزهای یخبندان کاهش و میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همچنین اظهار داشتند که بیش‌ترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتی‌گراد خواهد بود. پژوهش‌گران طی بررسی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از مدل ریزمقیاس لارس گزارش کردند که به‌طور میانگین در کشور سالانه میزان بارش^۸ نه درصد کاهش و میانگین سالانه دما حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (عباسی^۸ و همکاران، ۲۰۱۵). خلیلی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهشی با تأیید توانایی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی اقلیمی متغیرهای دما، تابش و بارش در ایستگاه سینوپتیک سنندج در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ به پیش‌بینی آن‌ها بر مبنای سناریوی RCP در ۲۰ سال آینده پرداختند. براساس نتایج آن‌ها مقدار میانگین دمای حداقل و حداکثر و بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد و شش میلی‌متر افزایش می‌یابد، ضمن آن‌که مقدار تابش خورشیدی به مقدار ۰/۰۳ میلی‌ژول بر مترمربع کاهش می‌یابد.

پژوهش‌گران اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم را در استان سیستان و بلوچستان موردارزیابی قرار دادند (ولی‌زاده^۹ و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج آن‌ها نشان داد که طول فصل رشد گندم در منطقه موردبررسی تحت سناریوهای A₁B و B₁، A₂ و مدل‌های اقلیمی HadCM₃ و IPCM₄ در سه دوره ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. در این مطالعه برای شبیه‌سازی رشدونمو گندم از مدل CERES-Wheat استفاده شد. پژوهش‌گران در شمال شرق ایران گزارش کردند که تحت شرایط تغییر اقلیم آینده در سه دوره ۲۰۱۱-۳۹، ۲۰۴۰-۶۹ و ۲۰۷۰-۹۹ تحت دو سناریوی A₂ و B₂ و دو مدل اقلیمی HadCM₃ و CGCM₂ با افزایش بارندگی طول فصل رشد گندم در شرایط دیم افزایش می‌یابد (عیشی رضایی^{۱۰} و بنایان^{۱۱}، ۲۰۱۲). گوهری^{۱۲} و همکاران (۱۳۹۱) طی بررسی اثرات تغییر اقلیم را بر تولید محصولات مختلف در حوضه زاینده‌رود در ایران، گزارش کردند که طول فصل رشد در همه محصولات (گندم، جو، ذرت، پنبه و برنج)، در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۴ در مقایسه با دوره پایه کاهش می‌یابد.

پژوهش‌ها نشان داد که تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی، تنها محدود به افزایش متوسط مقادیر درجه حرارت و بارش نمی‌شود و فراوانی و شدت تغییر متغیرهای هواشناسی در فصل رشد از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد که بدون تردید

1. Growing Degree Days (GDD)

2. Hussain

3. Mudasser

4. Lohani

5. Lal

6. Roberts

7. Summerfield

8. Abassi

9. Valizadeh

10. Eyshi Rezaie

11. Bannayan

12. Gohari

درجه حرارت هوا مهم‌ترین پارامتر هواشناسی است که فرایندهای مختلف رویشی و زایشی گیاهان را تحت کنترل دارد (پرادهن^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در حالت کلی، افزایش درجه حرارت تا یک حد بهینه با افزایش سرعت رشد و توسعه گیاه توأم بوده، اما اگر درجه حرارت فراتر از حد آستانه گیاه شود، رشد گیاه روند کاهشی به خود می‌گیرد و در چنین شرایطی عملکرد گیاهان احتمالاً به‌علت کوتاه‌شدن چرخه فنولوژیک در گیاه، افزایش سرعت تنفس شبانه، کاهش جذب مواد غذایی، افزایش احتمال ناباروری سنبلچه، تشکیل دانه‌های کم‌تر و کاهش ظرفیت مخزن هنگام پرشدن دانه، کاهش خواهد یافت (وحید^۲ و همکاران، ۲۰۰۷).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی روند تغییرات عوامل اقلیمی در شهرستان خرم‌آباد نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۱۸ تا ۸۶ درصد در سناریوها (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) و دوره‌های اقلیمی آینده (۲۰۲۴-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۸)، دمای کمینه ۱۰ تا ۴۳ درصد، دمای بیشینه ۶ تا ۲۱ درصد، بارش ۲ تا ۲۰ درصد و تشعشع صفر تا ۳ درصد افزایش و تعداد روزهای یخبندان ۲۲ تا ۶۲ درصد نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۲۳) کاهش خواهد یافت. بیش‌ترین تغییرات عوامل مذکور در سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۸)، ماه‌های آبان تا آذر (مصادف با مراحل اولیه رشد گیاهان پاییزه استان) و اواسط اسفندماه تا اردیبهشت‌ماه (مصادف با مراحل ساقه‌روی و گلدهی)، اتفاق خواهد افتاد. افزایش دما در نیمه سرد سال سبب کاهش برف و باران در زمستان خواهد شد، در نتیجه حجم رواناب‌های ناشی از ذوب برف‌ها کاهش می‌یابد و ذخایر آب‌های زیرزمینی نیز تغییر می‌کند. بنابراین تغییرات پارامترهای مذکور بر روند رشد و استقرار گیاهان زراعی، تاریخ‌های فنولوژیک و پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان پاییزه منطقه می‌تواند اثرات مثبت یا منفی داشته باشد.

نتایج نشان داد که در بین ارقام مورد مطالعه، طول دوره زایشی رقم قابوس به‌طور متوسط بین صفر تا ۳/۱ درصد و در سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه تا بدبینانه بین ۱/۲ تا ۱/۸ درصد کاهش، خواهد یافت. در دوره‌های اقلیمی مختلف طول دوره زایشی رقم آفتاب در بازه ۱/۷- تا ۱/۷+ و رقم کوه‌دشت ۱/۱- تا ۲/۷+ درصد متغیر خواهد بود. با توجه به تغییر طول دوره زایشی گیاه، در اکثر دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مورد مطالعه، به‌طور متوسط عملکرد دانه گندم ۱۵/۶ تا ۴۲/۲ درصد کاهش خواهد بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که درصد کاهش عملکردهای دانه در دوره اقلیمی دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) و سناریوی بدبینانه (RCP8.5) بیش‌تر خواهد بود. بنابراین با توجه به این که کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، لذا با اتخاذ استراتژی‌های سازگاری مناسب با شرایط اقلیمی منطقه (استفاده از روش‌های آبیاری مناسب، مدیریت عناصر غذایی، انتخاب تاریخ و تراکم کاشت مطلوب، انتخاب رقم و گیاهان سازگار و متحمل، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مناسب کاشت محصولات زراعی) می‌توان اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد، نمو و تولید محصولات کشاورزی را کاهش داد. لذا می‌توان بسته به تغییرات آب‌وهوایی منطقه، با کاشت رقم مناسب در مدیریت تولید منطقه نقش داشت. در این راستا استفاده از مدل زراعی اُپسیم نیز در پیش‌بینی و اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی می‌تواند راه‌گشا باشد.

۷. تشکر و قدردانی

از حمایت‌های پرسنل محترم مزرعه تحقیقاتی اداره کل هواشناسی استان لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

حجاریور، امیر؛ سلطانی، افشین و ترابی، بنیامین (۱۳۹۴). استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعات خلأ عملکرد (مطالعه موردی گندم در گرگان). *نشریه تولید گیاهان زراعی*، ۸(۴)، ۱۸۳-۲۰۱.

خلیلی اقدم، نبی؛ مساعدی، ابوالفضل؛ سلطانی، افشین و کامکار، بهنام (۱۳۹۱). ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۱۹(۴)، ۸۵-۱۰۲.

References

- Abassi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., & Borhani, R. (2015). Climate change prediction of south Khorasan province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Water and Soil*, 24(2), 218-233. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3218>.
- Ahmed, M., Akram, M. N., Asim, M., Aslam, M., Hassan, F., Higgins, S., Stockle, C., & Hoogenboom, G. (2016). Calibration and validation of APSIM-Wheat and CERES-Wheat for spring wheat under rainfed conditions: Models evaluation and application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 381-401. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.015>.
- Asseng, S. Ewert, F., & Martre, P. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5, 143-147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>.
- Devkota, K.P., Hoogenbom, G., Boote, K.J., Singh, U., Lamers, J.P.A., Devkota, M., & Velk, P.L.G. (2015). Simulating the impact of water saving irrigation and conservation agriculture practices for rice – wheat systems in the irrigated semi-arid drylands of Central Asia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 266-280. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.264>.
- Eyshi Rezaie, E., & Bannayan, M. (2012). Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Application*, 19, 346-354. <https://doi.org/10.1002/met.268>.
- FAOSTAT. (2020). Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), FAO Statistical Database, from <http://faostat.fao.org>.
- Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D., & Madani, K. (2013). Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of the Total Environment*, 442, 405-419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.029>.
- Hajjarpoor, A. Soltani, A., & Torabim, B. (2016). Using boundary Line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 8, 183-201. (In Persian).
- Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., & Garcia, J. N. (2017). Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research*, 197, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.017>.
- Holzworth, D., Huth, N., Devoil, P., Zurcher, E., Herrmann, N., Mclean, G., Chenu, K., & Keating, B. (2014). APSIM-evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. *Environmental Modelling and Software*, 62, 327-350. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.009>.
- Hussain, S. S., & Mudasser, M. (2019). Prospects for wheat production under changing climate in mountain areas of Pakistan: An econometric analysis. *Agricultural Systems*, 94, 494-501. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.12.001>.
- Innes, P. J., Tan, D. K. Y., Van Ogtrop, F., & Amthor, J. S. (2015). Effects of high-temperature episodes on wheat yields in New South Wales, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 208, 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.018>.
- Khalili Aghdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A., & Kamkar, B. (2012). Evaluation of ability of lars-wg model for simulating some weather parameters in Sanandaj. *Journal of Water and Soil Conservation*, 19(4), 85-102. (In Persian).
- Lashkari, A., Alizadeh, A., Eyshi Rezaei, E., & Bannayan, M. (2012). Mitigation of climate change impacts on maize productivity in northeast of Iran: a simulation study. *Mitigation Adaptation Strategy Global Change*, 17, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11027-011-9305-y>.

- Li, Z. T., Yang, J. Y., Drury, C. F., & Hoogenboom, G. (2015). Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. *Agricultural Systems*, 135, 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.12.006>.
- Lohani, N., Singh, M. B., & Bhalla, P. L. (2020). High temperature susceptibility of sexual reproduction in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 71, 555-568. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz426>.
- Martin, M. M., Olesen, J. E., & Porter, J. R. (2014). A genotype, environment and management analysis of adaption in winter wheat to climate change in Denmark. *Agricultural and Forest Meteorology*, 187, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.11.009>.
- Mavromatis, T., & Hansen, J. W. (2015). Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109(4), 283-296. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00272-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00272-6).
- Navid, S., Jahansuz, M. R., Soufizadeh, S., & Ghafari, M. (2024). Predicting the changes of climatic parameters in alborz province by using the lars -wg model with risk management approach. *The Quarterly Journal of Insurance & Agriculture*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.22034/13.1.1>
- Pastor, A. V., Palazzo, A., Havlik, P., Biemans, H., Wada, Y., Obersteiner, M., Kabat, P., & Ludwig, F. (2019). The global nexus of food trade water sustaining environmental flows by 2050. *Nature Sustainability*, 13, 1-18. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0287-1>.
- Pradhan, S., Sehgal, V.K., Bandyopady, K.K., Panigrahi, P., Parihar, C.M., & Jat, S. (2018). Radiation interception, extinction coefficient and use efficiency of wheat crop at various irrigation and nitrogen levels in a semiarid location. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23(3), 416-425. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0400-x>.
- Prasad, P.V.V., & Jagadish, S.V.K. (2015). Field crops and the fear of heat stress opportunities, challenges and future directions. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 36-37. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.144>.
- Ray, D.K., Gerber, J.S., MacDonald, G.K., & West, P.C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.1038/ncomms6989>.
- Rezaei, E. E., Siebert, S., & Ewert, F. (2015). Intensity of heat stress in winter wheat phenology compensates for the adverse effect of global warming. *Environmental Research Letters*, 10 (2), 12-24. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024012>.
- Roberts, E. H., & Summerfield, R. J. (2007). Measurement and prediction of flowering in annual crops. *Manipulation of Flowering*. Butterworths, London, pp, 17-50. <https://doi.org/10.1016/b978-0-407-00570-9.50007-7>.
- Valizadeh, J., Ziaei, S. M., & Mazlounzadeh, S. M. (2013). Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal Saudi Soc Agriculture Science*, 78, 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.02.002>.
- Vanittersum, M.K., Howden, S.M., & Asseng, S. (2016). Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO₂, temperature and precipitation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97 (1), 25-35. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00114-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00114-2)
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199-223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.