

Simulation of Phonological Stages of Irrigated Wheat Cv. Mehregan under Drought Stress in Climate Change Condition

Saeid Shiukhy Soqanloo¹, Seyyed Mohammad Mousavi Baygi^{1*}, Benyamin Torabi²,
Mahmoud Raeini³

Received: 22 February 2022 Accepted: 05 June 2022

1- PhD Student and Prof., Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Agriculture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3- Prof., Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural and Natural Recourses University, Iran.

*Corresponding Author Email: : mousavib@um.ac.ir

Abstract

Background & Objective: It is necessary to evaluate the occurrence of climate change, inadequate distribution and Stop of rainfall in the final stages of wheat grown in Varamin.

Material & Methods: From the output of HadGEM under RCP4.5 and RCP8.5, to simulate the future climate using AgMIP model with long-term baseline data (1980-2009), in the periods of 2025, 2055 and 2085 were used. SSM model was used to simulate the phonological stages of wheat and in order to calibrate and validate the model, an experiment in the form of a randomized complete block design with five treatments including; [No stress, booting stage, Flowering, Milking, and Doughing], with 3 replications, was carried out during the 2020-2019 growth season in Varamin.

Result: The SSM model simulated the occurrence of phonological stages with high accuracy. In 2085 period under RCP_{8.5}, the highest increase of Tmax and Tmin was observed with 6.9 °C and 5.6 °C compared to the baseline period, respectively. While the amount of precipitation decreased in 2025 and 2055 under RCP_{8.5}, but it increased in RCP_{4.5}. The smallest difference between day to Flowering, BSG, TSG and day to was related to the period 2025 under RCP_{4.5} with 3, 9, 12 and 11 days, respectively. The highest differences were observed in the period 2085 under the RCP_{8.5} with 90, 77, 47 and 43 days, respectively.

Conclusion: Increasing the temperature and decreasing rainfall have neutralized the beneficial effects of increasing CO₂ concentration and these factors have shortened the duration of phonological stages.

Keywords: Climate Change, Drought Stress, Phonological Stage, Scenario, SSM Model

شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی گندم آبی رقم مهرگان تحت تنش خشکی در شرایط تغییر اقلیم

سعید شیوخ^۱، سید محمد موسوی بایگی^{۱*}، بنیامین ترابی^۲، محمود رائینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۵

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- استاد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

* مسئول مکاتبه: Email: mousavib@um.ac.ir

چکیده

اهداف: ارزیابی رخداد تغییر اقلیم و توقف بارندگی‌ها در مراحل انتهایی دوره‌ی رشد گندم در ورامین ضروری است.

مواد و روش‌ها: از خروجی مدل گردش عمومی جو HadGEM تحت سناریوهای اقلیمی RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، برای شبیه‌سازی اقلیم آینده با بهره‌گیری از مدل تولید داده AgMIP با داده‌های دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹)، در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ استفاده شد. شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی گندم با مدل SSM و برای واسنجی و اعتباردهی مدل، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای؛ (بدون تنش، تنش در آبستنی، گله‌ی، شیری شدن و خمیری شدن) با ۳ تکرار، در دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ در ورامین انجام شد.

یافته‌ها: مدل SSM به خوبی مراحل فنولوژیکی را شبیه‌سازی کرد. در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریوی RCP_{8.5} بیشترین افزایش دمای بیشینه و کمینه به ترتیب با ۶/۹ و ۵/۶ سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه مشاهده شد. بارش در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP_{8.5} دچار کاهش، اما در سناریو RCP_{4.5} افزایش یافت. کم‌ترین اختلاف روز تا گله‌ی، شروع و پایان پر شدن دانه و روز تا رسیدگی مربوط به دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP_{4.5} به ترتیب با ۳، ۹، ۱۲ و ۱۱ روز بود و بیشترین اختلاف آنها در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP_{8.5} به ترتیب با ۹۰، ۷۷، ۴۷ و ۴۳ روز، مشاهده شد. تولید ماده خشک با ۴ درصد کاهش در مرحله آبستنی در دوره ۲۰۵۵ و عملکرد دانه با ۱۶/۸ درصد کاهش در مرحله گله‌ی در دوره ۲۰۸۵ همراه شدند.

نتیجه‌گیری: افزایش دما، اثرات سودمند افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را خنثی کرد و باعث کوتاه‌تر شدن طول دوره مراحل فنولوژیکی و کاهش عملکرد گندم شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریو، تنش خشکی، مراحل فنولوژیک، مدل SSM

مقدمه

و قابل توجهی بر آب و هوای جهان را به همراه داشته است (بازیاپور ۲۰۲۰). بدون شک میزان افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از گذشته تا کنون موجب نگرانی‌های بسیار زیادی در کشورهای درحال توسعه و بویژه

امروزه افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش فعالیت‌های انسانی برای تامین رفاه و نیاز خود، موجب افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای شده است. که پیامدهای شگرف

توسعه یافته برای تامین انرژی ایجاد کرده است (حسینی و همکاران ۲۰۱۶). همچنین وجود عدم قطعیت از نحوه و میزان افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در آینده، موجب بروز مشکلات متعددی در پایش رخداد تغییر اقلیم شده است (عینی‌نرگسه ۲۰۱۵). آخرین گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) حاکی از آن است که افزایش گرمایش جهانی و رخداد تغییر اقلیم از نیمه سده بیستم ارتباط بسیار تنگاتنگی با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای بویژه دی‌اکسید کربن دارد (شیوخی و همکاران ۲۰۲۱a). رخداد پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن، باعث ایجاد چالش‌ها و نگرانی‌های گسترده‌ای در بین کشورهای جهان شده است. از اینرو در تمامی نقاط جهان مطالعه چگونگی تغییر در روند مولفه‌های اقلیمی بویژه دما، مدت و شدت بارش‌ها، میزان تبخیر و رطوبت در اولویت قرار گرفته‌اند (شیوخی و همکاران ۲۰۲۱b). بر اساس گزارش اوستین و همکاران (۲۰۲۰)، اثرات سودمند افزایش دی‌اکسید کربن (افزایش بهره‌وری فتوسنتزی) ممکن است در برابر کاهش میزان بارندگی و افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی بی‌اثر شود. ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه از کره زمین در مواجهه با این تغییرات، نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. به‌طوریکه ممکن است این تغییرات در برخی مناطق اثرات مثبت و منفی را در پی داشته باشد و یا تغییرات قابل توجهی را به‌دنبال نداشته باشد و تقریباً ثابت بماند (محمدی و همکاران ۲۰۲۰). شناخت نوسان‌های زمانی و مکانی فراسنج‌های هواشناسی بویژه دما و بارش و اثرگذاری آن بر بوم‌نظام‌های کشاورزی برای دستیابی به پایداری تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک و اتخاذ راهبردهای مناسب بسیار ضروری می‌باشد (فینگر و اشמיד ۲۰۰۷).

تغییر در فراسنج‌های دما و بارش، موجب تغییر در تامین نیاز آبی و طول دوره‌ی رشد و نمو گیاهان و همچنین تغییر در میزان رطوبت خاک شده، که در نتیجه بر نحوه چگونگی توزیع و پراکنش پوشش گیاهی اثر می‌گذارد. کریشنان و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند عملکرد گیاهان زراعی وابستگی مستقیم و نزدیکی با تغییر اقلیم داشته و ممکن است دچار افزایش یا کاهش شود. روند افزایشی دمای هوا و افزایش نیاز آبی گیاهان در پی

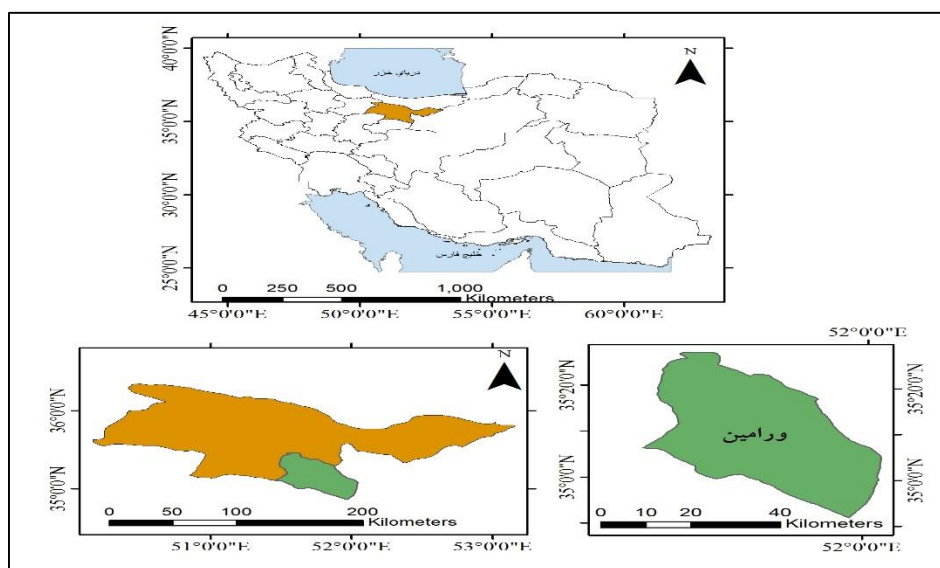
تغییر اقلیم بر پاسخ گیاهان به این تغییرات اثر می‌گذارد. از طرف دیگر، تنش‌های غیر زیستی محدودیتی جدی برای تولید محصول و امنیت غذایی در سرتاسر جهان محسوب می‌شوند. و این وضعیت به دلیل تغییرات شدید و سریع آب و هوای جهانی تشدید شده است (وی و همکاران ۲۰۱۷). تنش خشکی عامل مهم محدود کننده رشد و نمو گیاهان زراعی بوده و به‌عنوان یکی از جدی‌ترین تهدیدها برای تولید، بویژه گیاهان زراعی دانه‌ای به‌حساب می‌آید. با توجه به استقرار کشور ایران در کمربند بیابانی کره زمین و دارا بودن سهم قابل توجهی از اقلیم خشک و نیمه‌خشک، موجب شده است که وقوع احتمالی تغییرات اقلیمی، اثرگذاری قابل توجه و محسوسی بر تولید محصولات کشاورزی به‌همراه داشته باشد (زالی و همکاران ۲۰۲۰). البته پاسخ گیاهان به تنش خشکی بسیار پیچیده است و برخی اوقات شامل تغییرات سازگار یا گاهاً با اثرات زیان‌آور همراه است. حساسیت گیاهان به خشکی به شدت تنش، گونه‌های گیاهی و مراحل رشد آنها متفاوت است. کمبود آب در طی مراحل مختلف رشد می‌تواند مقادیر اجزای عملکرد را تغییر دهد. همچنین طیف وسیعی از پاسخ گیاهان به کمبود آب در طی مراحل مختلف رشد به پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تعمیم داده می‌شود (فهد و همکاران ۲۰۱۷ و فرانسیا و همکاران ۲۰۱۳). مهربان و همکاران (۲۰۱۹)، بیان کردند که تنش خشکی در طول مراحل مختلف پدیده‌شناسی گندم، باعث تغییراتی در دوره‌ی پر شدن دانه و عملکرد نهایی دانه نسبت به شرایط بدون تنش خشکی گردید. نتایج سعیدی و عبدولی (۲۰۱۵) نیز حاکی از آن بود که کمبود آب بویژه در مرحله پس از گلدهی، کاهش عملکرد ناشی از کوتاه شدن طول دوره مراحل فنولوژیک را در پی داشت. امروزه با توجه به سرعت گسترش مدل‌های کامپیوتری بویژه در بخش کشاورزی می‌توان از مدل‌های رشد گیاهی به‌عنوان ابزاری مناسب، به‌منظور دستیابی به درک صحیح از نحوه تغییرات عملکرد تولید، بر اساس تغییرات نهادها و عوامل محیطی استفاده کرد (پاک‌نژاد و همکاران ۲۰۱۷). توانایی مدل‌های شبیه‌سازی در پیش‌بینی رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی،

زمان دریافت آب تخصیص یافته به آنها و عوامل دیگری از جمله اقلیم خشک منطقه ورامین، مواجه شدن گیاه گندم با تنش خشکی و توقف و توزیع نامناسب بارندگی‌ها در مراحل میانی و انتهایی دوره‌ی رشد و نمو، از اهم دلایلی بود که باعث شد هدف از این پژوهش بر اساس بررسی بروز تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه گندم در شرایط فعلی و شبیه‌سازی آن در شرایط تغییر اقلیم (آینده) پایه‌گذاری شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (ورامین) دارای طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $51^{\circ} 64' E$ و $35^{\circ} 32' N$ است (شکل ۱). که دارای میانگین دمای سالانه $17/3$ درجه سانتیگراد، میانگین سالانه بارندگی 210 میلیمتر و ارتفاع $1190/8$ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. بافت غالب خاک در محدوده‌ی $100-300$ سانتی‌متری لوم رسی می‌باشد براساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، دارای اقلیم خشک سرد می‌باشد. دیگر ویژگی‌های آب و هوایی منطقه در طول دوره‌ی رشد و نمو $2020-2019$ در جدول (۱) ارائه گردید.

آنها را قادر می‌سازد تا با استفاده از گزینه‌های کاهش دهنده اثرات منفی مانند تنظیم تاریخ کشت، تغییر الگوی کشت، کشت ارقام مقاوم به گرما و ترویج گیاهان زراعی جدید، اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی را تعدیل کنند (رازا و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به هزینه زیاد و زمان‌بر بودن تحقیقات مزرعه‌ای، می‌توان با بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد که به‌خوبی تاثیر عواملی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و فاکتورهای مدیریتی بر عملکرد گیاه را پوشش می‌دهند، باعث کاهش هزینه‌ها و زمان در مقایسه با تحقیقات مزرعه‌ای می‌شوند (شیوخ و همکاران ۲۰۲۱a). از آنجا که رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی در شرایط اقلیم معمول به میزان زیادی به وسیله شرایط آب و هوایی در طی فصل رشد تعیین می‌شود، حتی تغییرات بسیار اندک شرایط اقلیمی نسبت به وضع معمول بر توان تولیدی گیاهان زراعی اثرات شگرف خواهد داشت (ما و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین بررسی رخداد تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن بر عملکرد گیاهان زراعی در آینده از اهمیت بیشتری نسبت به شرایط فعلی برخوردار خواهند بود (شیوخ و همکاران ۲۰۲۱b). لذا با توجه به کمبود منابع آب در دسترس کشاورزان و آبیاری بلافاصله مزارع در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- شرایط آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره‌ی رشد و نمو گندم در سال زراعی ۲۰۲۰-۲۰۱۹ (سازمان هواشناسی ایران-تهران).

Month	Temperature (°C)			Precipitation (mm)	Relative humidity (%)			Evaporation (mm)
	Min	Max	Mean		Min	Max	Mean	
October	۱۲/۳	۲۷	۱۹/۶	۲۴/۳	۱۳	۱۰۰	۴۹	۱۲۲/۲
November	۴/۱	۱۵/۵	۹/۸	۵۵/۳	۲۱	۱۰۰	۷۰	۳۴/۵
December	۲/۵	۱۳/۱	۷/۸	۷/۴	۳۶	۹۸	۶۹	.
January	-۰/۱	۹/۷	۴/۸	۱۶/۴	۳۴	۱۰۰	۷۰	.
February	۰/۲	۱۳/۸	۷/۸	۶۵/۶	۲۱	۱۰۰	۵۴	.
March	۶/۶	۱۹/۵	۱۳/۱	۴/۱	۱۴	۹۹	۵۰	۱۹/۶
April	۸/۶	۲۱/۸	۱۵/۲	۳۸/۷	۲۵	۱۰۰	۵۸	۱۰۹/۵
May	۱۴/۸	۳۱/۹	۲۳/۳	۹/۴	۹	۹۱	۳۳/۵	۲۳۷/۱
June	۱۹/۳	۳۸/۷	۲۹	.	۶	۵۸	۲۰	۳۶۵/۴

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که σ و μ به ترتیب انحراف معیار و میانگین جامعه را نشان می‌دهند.

سناریوهای RCP (نماینده خط سیر غلظت)، بر پایه واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ ارایه شده‌اند که حاصل گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم می‌باشند. سناریوهای اقلیمی در بازه‌های مختلف، در ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم استفاده می‌شوند، که دلیل آن عدم قطعیت و تردید در روند انتشار گازهای گلخانه‌ای عنوان شده است. در این پژوهش از دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره (۲۰۱۰-۲۰۳۹) (۲۰۲۵-۲۰۴۰)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و ۲۰۵۵ و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) ۲۰۸۵ استفاده شد. در سناریو RCP8.5 افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در غیاب سیاست‌های تغییر اقلیم، به شدت افزایش خواهد یافت و میزان واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به ۸/۵ وات بر مترمربع و غلظت CO2 به حدود ۹۵۰ ppm خواهد رسید و این روند به صورت افزایشی ادامه خواهد داشت. در سناریو RCP4.5 میزان واداشت تابشی ۴/۵ وات بر متر مربع و غلظت CO2 نیز به حدود ۵۴۰ ppm در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (وین ۲۰۱۳).

همچنین با استفاده از مدل SSM-Wheat که توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک، گسترش و پیری برگ،

به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم آینده، از مدل گردش عمومی HADGEM2-ES استفاده شد. سیستم زمین به‌طور استاندارد در این مدل لحاظ شده است و نخستین مدل مرکز اداره هواشناسی هادلی انگلیس به حساب می‌آید. برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی از ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی AgMIP مبتنی بر روش دلتا (عامل تغییر) استفاده شد. روش دلتا یا عامل تغییر یکی از ساده‌ترین روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی است. برای دما عامل تغییر اختلاف بین شبیه‌سازی بارش اقلیم آینده به اقلیم پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) یک مدل گردش عمومی است، ولی عامل تغییر برای بارش حاصل نسبت بارش بین این دو شرایط است. برای واسنجی و اعتبار مدل با مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی (مشاهده شده) از نمایه‌های گوناگونی برای ارزیابی تفاوت میان آنها استفاده می‌شود. در این پژوهش با بهره‌گیری از نمایه ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۱) و ضریب تغییرات (رابطه ۲) ارزیابی تفاوت داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی صورت گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(O_i - S_i)^2}{n - 1}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که O_i و S_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، و n تعداد مشاهدات می‌باشند.

بدون تنش (T1)، تنش در مرحله آبستنی (T2)، مرحله گلدهی (T3)، مرحله شیری شدن (T4) و مرحله خمیری شدن (T5) در شهرستان ورامین انجام شد. روش آبیاری سطحی بود و از تانسیموتر برای پایش رطوبت خاک استفاده شد. بدین ترتیب آبیاری زمانی که رطوبت خاک به ۷۰ درصد می‌رسید ($SWC=70$)، انجام می‌شد (شیوخ و همکاران ۲۰۲۱b). لازم به ذکر است که در هر یک از مراحل فنولوژیکی تحت تنش خشکی، آبیاری با رسیدن به مرحله مورد نظر قطع شد و با اتمام آن مرحله دوباره تا پایان دوره رشد و نمو، آبیاری ادامه یافت. همچنین در زمان اعمال تنش خشکی با استفاده از اتاقک‌هایی از جنس پلاستیک شفاف^۱ با ابعاد $1/5 \times 2 \times 7$ متر (به ترتیب طول، عرض و ارتفاع) از ورود بارش به کرت‌های تحت تنش جلوگیری شد.

بحث و نتایج

ارزیابی شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی گندم آبی رقم مهرگان در طول دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ در شرایط تنش خشکی با استفاده از مدل SSM، بیانگر آن بود که مدل به خوبی و با دقت بسیار بالا و قابل پذیرش، مراحل فنولوژیکی گندم آبی رقم مهرگان را شبیه‌سازی کرد (جدول ۳). همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تفاوت چندان قابل توجهی میان مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده مشاهده نشد.

تأثیر خشکی هوا، CO_2 بر تولید ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد، رشد و نمو و عملکرد گندم به صورت روزانه به عنوان تابعی از شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و مدیریت زراعی انجام شد (سلطانی و سینکر ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲). مدل SSM، زیر مدل-های هواشناسی، گیاه، خاک و مدیریت زراعی را شامل می‌شود. داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای اجرای زیر مدل هواشناسی شامل: ساعت آفتابی (محاسبه تابش خورشیدی بر حسب $MJ.m^{-2}.d^{-1}$)، از رابطه آنگستروم (زینلی‌مبارکه و همکاران ۲۰۱۹)، دمای کمینه و بیشینه (محاسبه دمای موثر) و بارش (سلطانی و همکاران ۲۰۱۳) برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹) از سازمان هواشناسی ایران-تهران تهیه شد. در این شبیه‌سازی متوسط مقدار CO_2 برای دوره گذشته ۳۶۰ ppm، برای دوره ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP4.5 به ترتیب برابر با ۴۲۳، ۴۳۲ و ۵۲۸ پی‌پی‌ام و تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب برابر با ۴۹۹، ۵۷۱ و ۵۱۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شدند (وین ۲۰۱۳). برای اجرای زیر مدل خاک اطلاعات مربوط به خاک مزرعه آزمایشی و برای زیر مدل گیاه داده‌های مورد نیاز شامل: رقم، تراکم بوته در متر مربع، ضرایب ژنتیکی و غیره وارد شد تا در نهایت مدل نهایی اجرا، و خروجی‌های مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد گندم رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار با پنج تیمار آزمایشی شامل؛ [کشت معمول منطقه در شرایط

جدول ۳- مقایسه مقادیر مشاهده و شبیه‌سازی شده مراحل پدیده‌شناسی در طول فصل رشد گندم آبی رقم مهرگان ۲۰۲۰-۲۰۱۹ تحت تنش خشکی.

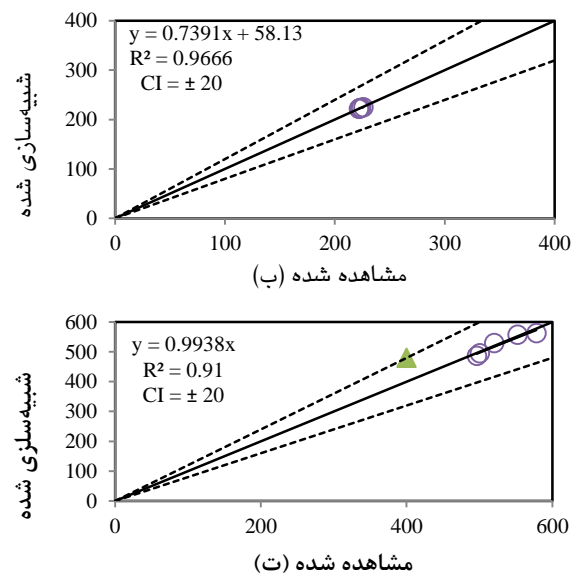
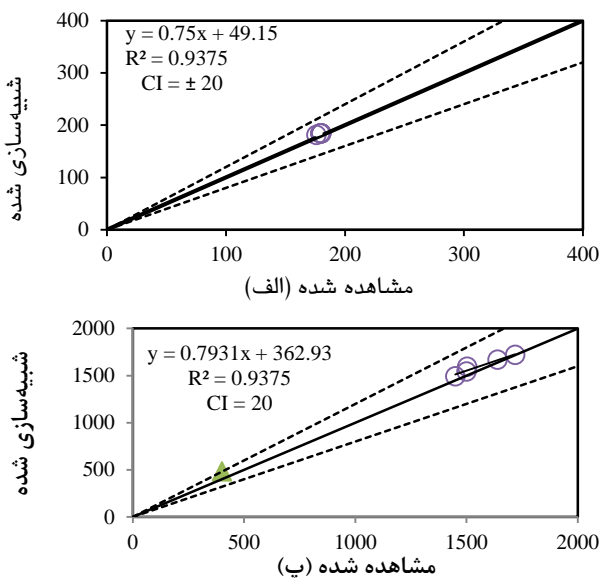
شبیه‌سازی شده						
مراحل فنولوژیکی مشاهده شده	بدون تنش	آبستنی	گلدهی	شیری شدن	خمیری شدن	
گلدهی	۱۸۳	۱۸۴	۱۸۳	۱۸۴	۱۸۴	
شروع پر شدن دانه	۱۹۴	۱۹۶	۱۹۴	۱۹۶	۱۹۶	
پایان پر شدن دانه	۲۲۲	۲۲۴	۲۲۱	۲۲۱	۲۲۲	
رسیدگی	۲۲۴	۲۳۱	۲۲۹	۲۲۹	۲۳۰	

تمامی اعداد در ستون‌ها بر حسب روز پس از کاشت می‌باشند (Day After Planting, (DAP)

^۱ Rain shelter

میانگین مربعات خطا و آماره ضریب تغییرات در مرحله گلدهی ($CV = 2.4$ و $RMSE = 4.4$ day) (شکل ۲-الف)، رسیدگی دانه ($CV = 2.2$ و $RMSE = 4.8$ day) (شکل ۲-ب)، تولید ماده خشک ($CV = 2.2$ و $RMSE = 4.8$ day) (شکل ۲-پ) و عملکرد دانه ($CV = 15.7$ و $RMSE = 15.7$ day) (شکل ۲-ت) (شکل ۲-ت) ارزیابی گردید که هر یک موید توانایی مدل SSM در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و تولید ماده خشک و عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی بودند.

بر اساس یافته‌ها، شمار روز تا گلدهی، شروع و پایان پر شدن دانه مقادیر مشاهده شده تنها ۱ تا ۲ روز با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل اختلاف نشان دادند. همچنین طول دوره روز تا رسیدگی در طول دوره‌ی رشد و نمو گندم آبی رقم مهرگان ۲۲۴ روز مشاهده شد این در حالی بود که طول دوره‌ی رشد شبیه‌سازی در مدل SSM تحت شرایط تنش خشکی در مراحل آبستنی، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه به ترتیب ۲۳۱، ۲۲۹، ۲۲۹، ۲۲۹ و ۲۳۰ روز دیده شد. به اختصار، مقادیر شاخص ریشه



شکل ۲- شبیه‌سازی روز تا گلدهی (۲-الف)، رسیدگی (۲-ب)، تولید ماده خشک (۲-پ) و عملکرد دانه (۲-ت) گندم آبی رقم مهرگان در طول فصل رشد و نمو ۲۰۲۰-۲۰۱۹.

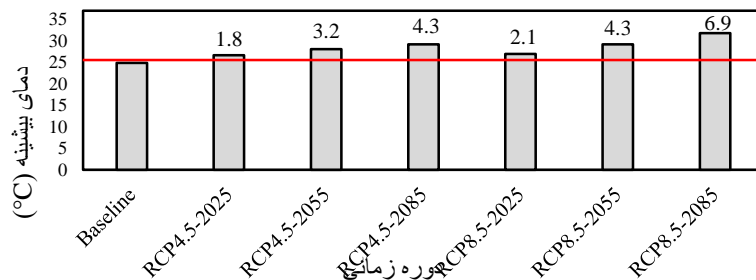
تحت سناریو RCP_{4.5} در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ به ترتیب با ۱/۸، ۳/۲ و ۴/۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یافت. در حالیکه تحت سناریو RCP_{8.5} در دوره‌های مورد بررسی، به ترتیب با ۲/۱، ۴/۳ و ۶/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه همراه بود (شکل ۳). همانطور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود افزایش دمای بیشینه در سناریو RCP_{8.5} در مقایسه با سناریو RCP_{4.5} بویژه در دوره ۲۰۸۵ شدیدتر بود. براساس نتایج بدست آمده، دمای کمینه نیز در دوره‌های مورد بررسی تحت سناریو RCP_{8.5} در مقایسه با سناریو RCP_{4.5} تغییرات شدیدتری نسبت به دوره پایه

شبیه‌سازی پارامترهای تغییر اقلیم

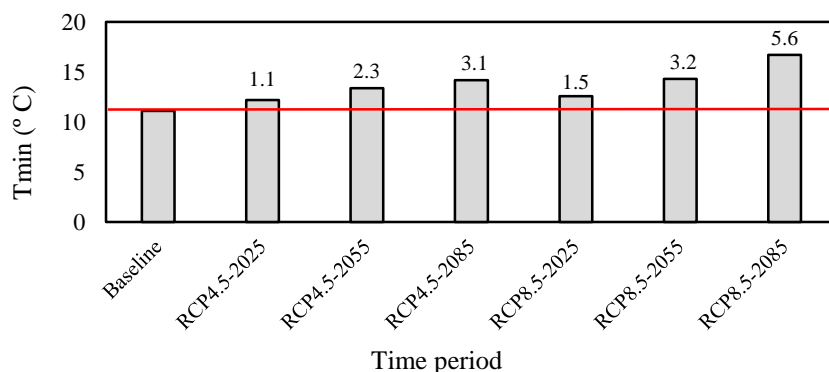
بررسی نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} نشان داد که پارامترهای دما بیشینه و کمینه در تمامی دوره‌ها و تحت هر دو سناریو مورد بررسی، نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹) افزایش یافتند. این در حالی بود که پارامتر بارش تحت سناریو RCP_{4.5} در تمامی دوره‌ها روندی افزایش نسبت به دوره پایه داشت اما در سناریو RCP_{8.5} در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۸۵ نسبت به دوره پایه روندی کاهش داشت اما در دوره ۲۰۸۵ روند افزایشی نشان داد. بر پایه یافته‌ها، دمای بیشینه

تحت سناریو RCP_{8.5} در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ به ترتیب با ۱/۱، ۲/۳ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۴).

نشان داد. به‌طوریکه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP_{8.5} به ترتیب ۱/۵، ۳/۲ و ۵/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یافت. این در حالی بود که افزایش دما نسبت به دوره پایه با شدت کمتری



شکل ۳- تغییرات دمای بیشینه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹).



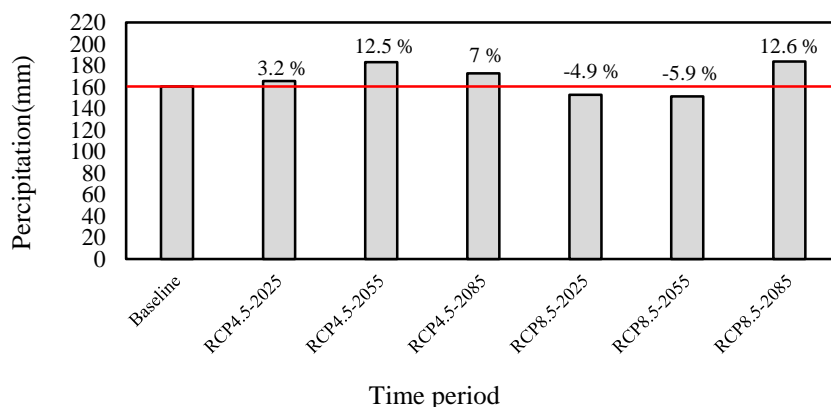
شکل ۴- تغییرات دمای کمینه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹).

در مجموع بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، انتظار می‌رود که در دوره‌های مورد بررسی تحت سناریوی RCP_{4.5} افزایش بارش و غلظت دی‌اکسید کربن نسبت به دوره پایه بتوانند اثرات منفی ناشی از افزایش دما را تا حدی کاهش دهند اما در سناریو RCP_{8.5} در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ کاهش میزان بارش و افزایش دما نسبت به دوره پایه می‌توانند اثرات سودمندناشی از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را خنثی سازند. ژیانو و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که در سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، میانگین دما نسبت به دوره پایه، روندی افزایش داشت. دیهیم‌فرد و همکاران (۲۰۱۷)،

همچنین یافته‌های حاصل از بررسی میزان بارش به گونه‌ای بود که تحت سناریو RCP_{4.5} مقدار بارش در در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نسبت به دوره پایه، به ترتیب با افزایش ۳/۲، ۱۲/۵ و ۷ درصدی همراه بود. این در حالی بود که تحت سناریو RCP_{8.5} نتایج کاملاً متفاوت و قابل توجه بود. به‌طوریکه در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ مقدار بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۹ و ۵/۹ درصد کاهش نشان داد در حالی که در دوره ۲۰۸۵ مقدار بارش نسبت به دوره پایه با افزایش ۱۲/۶ درصدی همراه بود (شکل ۵).

تحت سناریوهای اقلیمی در آینده می‌باشد. نتایج پژوهش عباسی و همکاران (۲۰۱۰)، در مقایسه دو مدل HadCM2 و ECHAM4، گویای کاهش بارش‌های ایران تا دهه ۲۱۰۰ به میزان ۲/۵ درصد بود، در حالی‌که برای دوره مشابه در مدل ECHAM4 بارش‌های کشورمان به میزان ۱۹/۸ درصد افزایش یافت. لذا نتایج این پژوهش در همسنجی با نتایج مذکور همخوانی داشت. این در حالی بود که در برخی مطالعات روند تغییرات ماهانه بارش در برخی از ماه‌ها (قربانی و سلطانی ۲۰۱۳)، (عزیزی و همکاران ۲۰۱۸) و دوگان و کارکاس (۲۰۱۸) افزایشی گزارش شد.

نشان دادند که درصد تغییرات دمای بیشینه (از ۰/۶۳ تا ۱/۰۵ درصد) و دمای کمینه (از ۰/۶۳ تا ۱/۹۸ درصد) افزایش یافت. زینلی مبارکه و همکاران (۲۰۱۹)، پیش‌بینی کردند که در دوره ۲۰۵۰ تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5، دما در طول دوره‌ی رشد ۱/۶ درجه سانتی-گراد افزایش و میانگین بارندگی ۵/۸۵ درصد کاهش می‌یابد. نتایج محمدی و همکاران (۲۰۲۰)، نیز حاکی از افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد دمای سالانه در غرب و شمال غرب کشور بود. نتایج مطالعات رحیمی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۹)؛ ادوی و همکاران (۲۰۱۸)؛ وانلی و همکاران (۲۰۱۹) نیز موید افزایش دمای بیشینه و کمینه



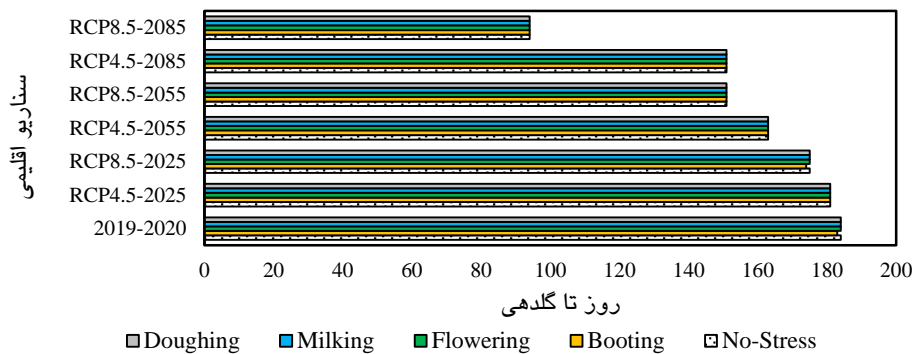
شکل ۵- درصد تغییرات میزان بارش در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۹).

حاکی از تفاوت بسیاراندک و قابل چشم‌پوشی در میان تیمارهای آزمایش بود. اما بررسی نتایج شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ دارای تفاوت‌های بسیار بارز و قابل توجهی بود. به‌طوریکه صفات طول دوره‌ی روز تا گلدهی، شروع پر شدن، پایان پر شدن دانه و روز تا رسیدگی دانه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نسبت به نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹، تغییر یافته و کوتاه‌تر شدند. این تغییرات در دوره ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریو در مقایسه با دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ بسیار چشمگیر و قابل توجه بود. بر پایه یافته‌ها، طول دوره روز تا گلدهی تحت سناریو RCP4.5 در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نسبت

شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک

نتایج ارزیابی تاثیر تنش خشکی بر وقوع مراحل فنولوژیکی نشان داد که در طول دوره رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹، رخداد تنش خشکی در زمان وقوع مراحل فنولوژیکی تاثیر قابل توجهی نداشت. به‌طور مثال طول دوره‌ی روز تا گلدهی در شرایط بدون تنش، تنش در مراحل آبستنی، گلدهی، شیرری شدن و خمیری شدن دانه به‌ترتیب ۱۸۴، ۱۸۳ و ۱۸۴ روز بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در طول دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹، اختلاف محسوسی در وقوع مراحل فنولوژیک مشاهده نشد. همچنین در صفت روز تا رسیدگی دانه در شرایط بدون تنش، تنش در مراحل آبستنی، گلدهی، شیرری شدن و خمیری شدن دانه به‌ترتیب ۲۳۱، ۲۲۹، ۲۲۹، ۲۲۹ و ۲۳۰ روز بود که

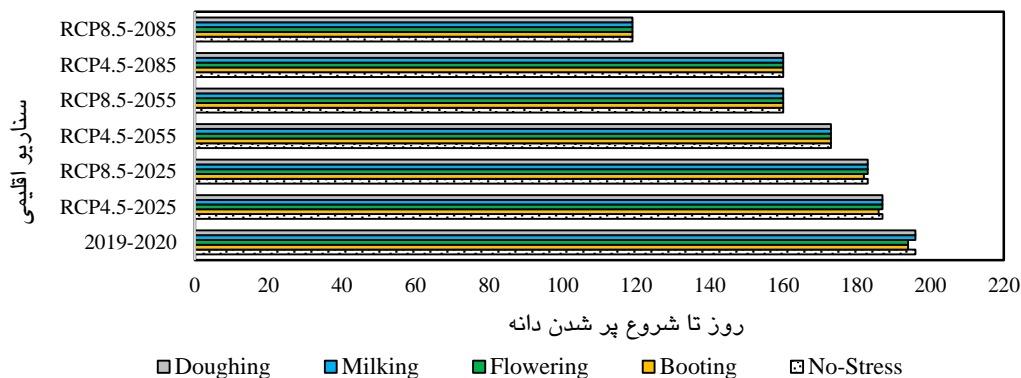
به دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰ به ترتیب ۳، ۲۱ و ۳۳ روز، کوتاه‌تر بود. اما تحت سناریو RCP_{8.5} در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ طول دوره روز تا گلدهی به ترتیب ۹، ۳۳ و ۹۰ روز کاهش یافت (شکل ۶).



شکل ۶- بررسی طول دوره‌ی روز تا گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{8.5} و RCP_{4.5} نسبت به دوره‌ی رشد (۲۰۱۹-۲۰۲۰).

تحت سناریو RCP_{8.5} میزان کاهش طول دوره‌ی روز تا شروع پر شدن دانه در دوره ۲۰۸۵ نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، به ۷۷ روز رسید. این در حالی بود که در دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ این مقدار کاهش به ترتیب ۱۳ و ۳۶ روز مشاهده شد (شکل ۷).

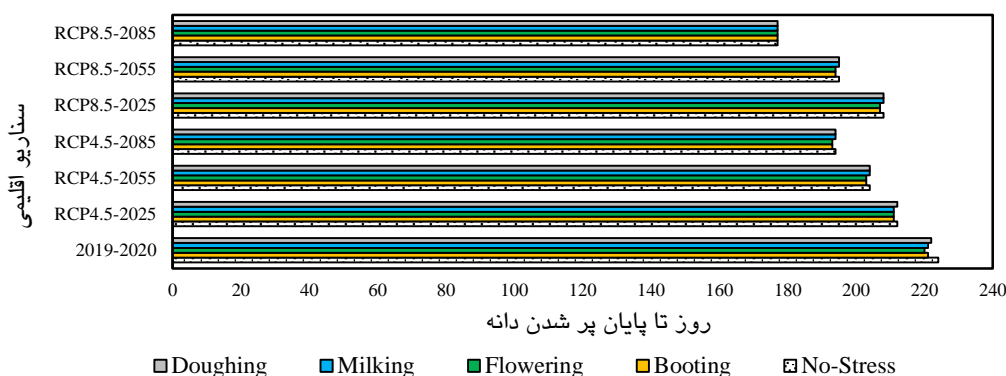
بر اساس نتایج بدست آمده، طول دوره روز تا شروع پر شدن دانه در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP_{4.5} با ۳۶ روز کاهش نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، در مقایسه با دوره‌های ۲۰۲۵ (۹ روز) و ۲۰۵۵ (۲۳ روز)، بیشترین میزان را به خود اختصاص داد. در حالی که



شکل ۷- بررسی طول دوره‌ی روز تا گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{8.5} و RCP_{4.5} نسبت به دوره‌ی رشد (۲۰۱۹-۲۰۲۰).

شد. همچنین نتایج گویای آن بود که در سناریو RCP_{8.5} بیشترین میزان کاهش طول دوره‌ی روز تا پایان پر شدن دانه در میان دوره‌های مورد بررسی با ۴۷ روز نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، اتفاق افتاد (شکل ۸).

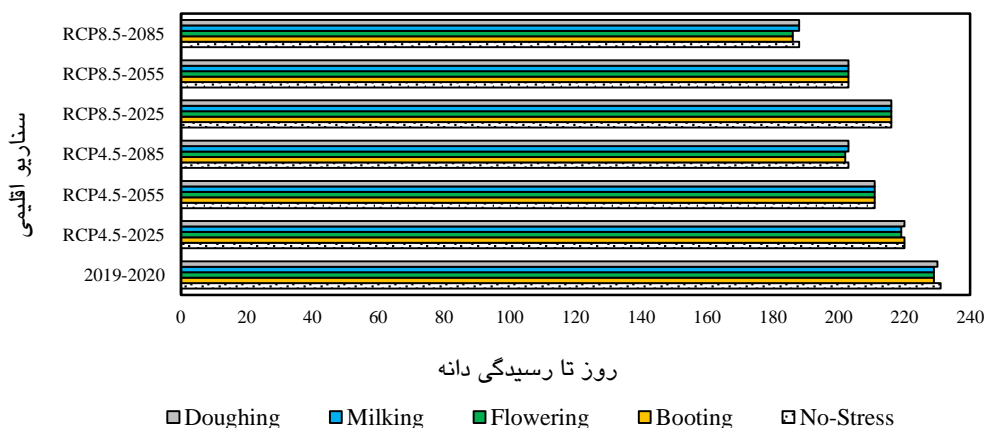
همچنین یافته‌های حاصل از بررسی طول دوره‌ی روز تا پر شدن دانه نیز روندی مشابه با روز تا شروع پر شدن دانه داشت. کمترین میزان کاهش طول دوره تحت سناریو RCP_{4.5} مربوط به دوره ۲۰۲۵ با ۱۲ روز بود و بیشترین میزان کاهش در دوره ۲۰۸۵ با ۳۰ روز مشاهده



شکل ۸- بررسی طول دوره‌ی روز تا گلدهی در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} نسبت به دوره‌ی رشد (۲۰۱۹-۲۰۲۰).

۲۰۸۵ با شدت بیشتری همراه بود. به‌طوریکه کمترین کاهش روز تا رسیدگی دانه مربوط به دوره‌ی ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP_{4.5} با ۱۱ روز بود، درحالی‌که دوره‌ی ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP_{8.5} با ۴۳ روز کاهش بالاترین میزان تغییر نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹، را به خود اختصاص داد (شکل ۹).

بررسی نتایج طول دوره‌ی روز تا رسیدگی دانه نشان از کوتاه شدن این طول دوره تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} در تمامی دوره‌های مورد بررسی نسبت به دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، داشت. البته این تغییرات (کوتاه‌تر شدن روز تا رسیدگی دانه) تحت سناریو RCP_{8.5} در مقایسه با سناریو RCP_{4.5} در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و



شکل ۹- بررسی طول دوره‌ی روز تا رسیدگی دانه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} نسبت به دوره‌ی رشد (۲۰۱۹-۲۰۲۰).

فیزیولوژیک و در پایان روز تا رسیدگی کامل (برداشت)، وجود خواهد داشت (شیوخی و همکاران ۲۰۲۱a؛ رابرتز و سامرفیلد، ۲۰۰۷). بر پایه نتایج کوچکی و همکاران (۲۰۰۶)، صفت روز تا رسیدگی در شرایط رخداد تغییر

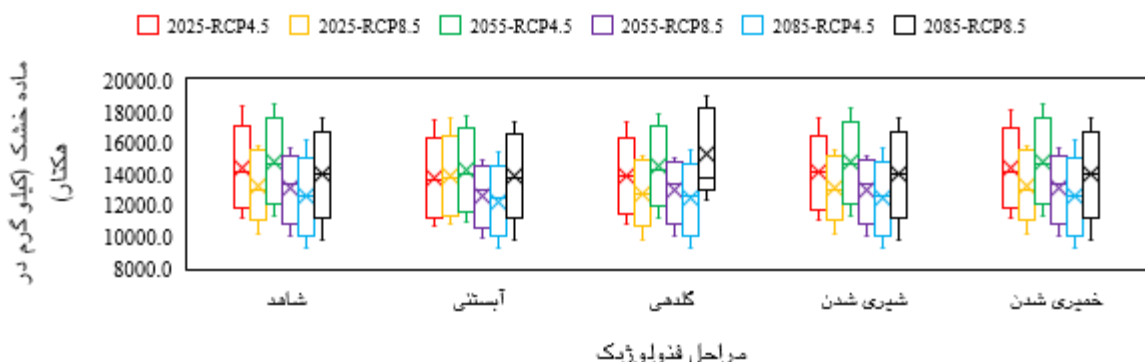
در طول دوره‌ی رشد و نمو گیاه، افزایش دما نرخ سرعت رشد و نمو و تسریع در گلدهی را به دنبال خواهد داشت که در نتیجه امکان کاهش طول دوره مراحل فنولوژیک گیاه از جمله؛ طول دوره‌ی روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی

شرایط تغییر اقلیم از دوره ۲۰۲۵ در مقایسه با دوره‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۵ افزایش می‌یابد.

تولید ماده خشک

بر پایه نتایج، میزان تولید ماده خشک در شرایط وقوع تنش خشکی در مراحل آبستنی و گلدهی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ به ترتیب با کاهش ۳/۷ و ۲/۴ درصد، ۴/۱ و ۱/۹ درصد و ۱/۲ و ۰/۸ درصدی همراه بود. این در حالی بود که در مراحل شیری شدن و خمیری شدن دانه تفاوت چندان قابل توجهی مشاهده نشد. به طور کلی بر اساس نتایج بدست آمده، می‌توان اینگونه اظهار داشت که تاثیر رویداد تغییر اقلیم بر میزان تولید ماده خشک با گذشت زمان از دوره ۲۰۲۵ به ۲۰۸۵ با شدت بیشتری همراه بود. همچنین وقوع تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژیکی گندم آبی رقم مهرگان نشان داد که میزان تولید ماده خشک در شرایط وقوع تنش خشکی در مراحل آبستنی و گلدهی در مقایسه با مراحل شیری شدن و خمیری شدن دانه، تحت شرایط تغییر اقلیم کاهش محسوسی یافت. در واقع نتایج گویای آن بود که بیشترین کاهش میزان تولید ماده خشک مربوط به دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 در مراحل آبستنی و گلدهی بود (شکل ۱۰).

اقلیم کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش نیز همخوانی داشت. همچنین نتایج سلطانی و قلی‌پور (۲۰۰۶)، حاکی از کاهش ۱۰ تا ۱۳ درصدی دوره‌ی رشد و نمو گیاه در شرایط دو برابر شدن غلظت CO₂ و تغییرات اقلیمی ناشی از آن بود. نتایج پژوهش مرادی و همکاران (۲۰۱۳) بیانگر کاهش طول دوره کاشت تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک ذرت تحت تاثیر تغییر اقلیم (در منطقه خراسان رضوی) از ۱۱ تا ۳۸ درصد بود. اما قربانی و سلطانی (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاهش ۵ تا ۱۰ روز (کاشت دیر هنگام) در طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت، بیشتر تحت تاثیر سناریوهای تاریخ کاشت قرار داشت و تغییر اقلیم در نهایت بر رشد و عملکرد سویا در منطقه گرگان تاثیر قابل ملاحظه‌ای نداشت. ارزیابی نتایج برخی پیش‌بینی‌ها حاکی از آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم و تاثیر آن بر طول دوره مراحل فنولوژیک بویژه روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی تحت سناریوهای RCP، بود (پایمرد و همکاران ۲۰۱۵؛ محمدی و همکاران ۲۰۲۰). طول دوره‌ی رشد و نمو در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 علی‌رغم اثرات مثبت افزایش غلظت دی اکسید کربن، به میزان قابل توجهی کاهش یافت (شیوخ و همکاران ۲۰۲۱). نتایج کوچکی و کمالی (۲۰۱۰)، نیز موید آن بود که شدت کاهش با عمیق‌تر شدن (تشدید)



شکل ۱۰- میزان تولید ماده خشک گندم آبی رقم مهرگان در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای 4.5 RCP و 8.5 RCP در شرایط تنش خشکی

همین دوره تحت سناریو RCP8.5، تاثیر رویداد تغییر اقلیم کاهش ۸/۳ درصدی عملکرد دانه در شرایط رخداد تنش خشکی در مرحله آبستنی، ۰/۵ درصدی در مرحله گلدهی، ۰/۰۲ درصدی در مرحله شیری شدن و بدون تغییر در مرحله خمیری شدن نسبت به شرایط بدون تنش را به دنبال داشت (شکل ۱۱). بر اساس نتایج، ارزیابی تاثیر رخداد تغییر اقلیم بر عملکرد دانه در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP4.5، نشان از کاهش ۱/۵ درصدی عملکرد دانه در این دوره تحت سناریو RCP4.5 بود. این عملکرد در حالی بود که میزان عملکرد دانه در شرایط رخداد تنش در مرحله آبستنی به میزان بسیار اندک ۰/۲ درصد کاهش یافت. اما در مراحل شیری شدن و خمیری شدن دانه بدون تغییر بود. بررسی عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان در شرایط تنش خشکی در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5، حاکی از آن بود که میزان عملکرد در شرایط رخداد تنش خشکی در مرحله گلدهی به میزان قابل توجه ۱۶/۸ درصد و در مرحله آبستنی با ۳/۶ درصد کاهش همراه بود. در حالی که در شرایط وقوع تنش در مراحل شیری شدن و خمیری شدن دانه همانند سناریو RCP4.5، در این دوره تحت سناریو RCP8.5 نیز یکسان و ثابت بود (شکل ۱۱).

با توجه به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تحت سناریوی RCP8.5 در مقایسه با سناریو RCP4.5 در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ نسبت به فصل رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ انتظار می‌رفت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، به‌تنهایی باعث افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد گندم آبی رقم مهرگان شود. اما نتایج نشان داد که با گذر از دوره ۲۰۲۵ به دوره ۲۰۸۵ و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن عملکرد دانه کاهش یافت. براساس نتایج، بیشترین میزان کاهش عملکرد نسبت به فصل رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹ (غلظت دی‌اکسید کربن ۳۸۵ppm) در دوره ۲۰۸۵ و تحت سناریو RCP8.5 در شرایط رخداد تنش در مرحله گلدهی مشاهده شد، در جایی که میزان افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در بالاترین میزان پیش‌بینی شده با مقدار ۸۱۰ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شده بود. این در حالی بود که

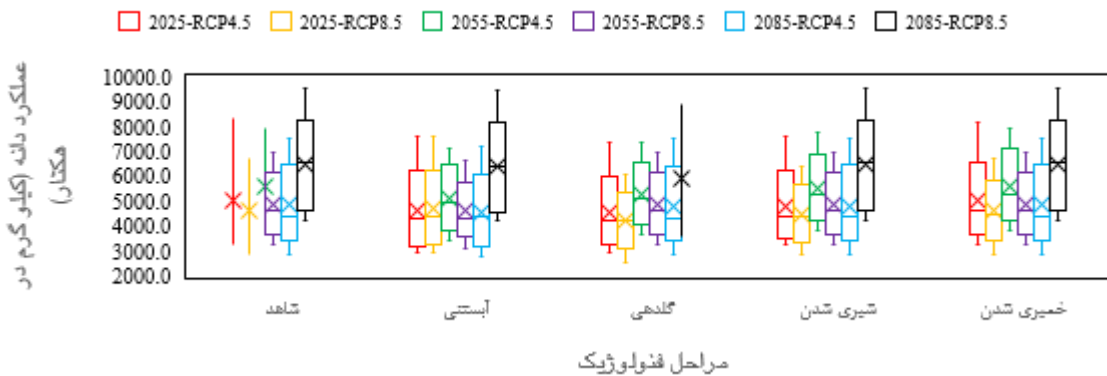
سرعت رشد و نمو گیاهان ارتباط مستقیم و تنگاتنگی با دما دارد. لذا سرعت رشد و نمو گیاه با افزایش دما تسریع یافته و افزایش می‌یابد. حال با توجه به نتایج، با گذر از دوره ۲۰۲۵ به ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریو اقلیمی، روند تغییرات دما افزایشی می‌باشد. اما از طرف دیگر وقوع تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژیکی، رشد و نمو گیاه را دچار اختلال نموده و با کاهش عملکرد مواجه می‌سازد (مهربان و همکاران ۲۰۱۹). نتایج باسال و ژابو (۲۰۲۰) نشان داد که گیاه گندم در پاسخ به مواجه شدن با وقوع تنش خشکی در طول دوره‌ی رشد و نمو خود، دچار کاهش در میزان تولید ماده خشک شده و در نهایت میزان عملکرد دانه تحت تاثیر وقوع تنش خشکی با کاهش چشمگیری روبه‌رو می‌شود. همسنجی یافته‌های این پژوهش با نتایج رئوف و همکاران (۲۰۰۷) و پایمرد و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی داشت.

عملکرد دانه

بر پایه نتایج، تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP4.5 در شرایط وقوع تنش خشکی در مراحل آبستنی، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه در مقایسه با شرایط بدون تنش، به ترتیب ۹/۶، ۱۱/۴، ۷/۹ و ۱/۹ درصد کاهش را در پی داشت. همچنین ارزیابی میزان عملکرد دانه در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP8.5، حاکی از آن است که کاهش ۲، ۴/۵ و ۲/۲ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب در مراحل آبستنی، گلدهی و شیری شدن دانه نسبت به شرایط بدون تنش خشکی داشت. در حالی که در مرحله خمیری شدن تفاوت چندان قابل توجهی ملاحظه نشد (کاهش ۰/۱ درصدی نسبت به شرایط بدون تنش) (شکل ۱۱). با توجه به نتایج بدست آمده در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریو RCP4.5، تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان، در شرایط رخداد تنش خشکی در مراحل آبستنی و گلدهی به‌ترتیب با مقادیر ۵/۴، ۲/۳ درصد شد. در حالی که رخداد تنش در مراحل شیری شدن (۰/۰۲ درصد کاهش) و خمیری شدن دانه (بدون کاهش) تغییرات تقریباً اندک و ثابتی را نشان دادند. همچنین در

بهبود عملکرد گندم شد، اما از طرف دیگر افزایش دما و کاهش میزان بارندگی عملکرد دانه را کاهش داد. بر پایه گزارش کریشنان و همکاران (۲۰۱۸)، میزان تولید و عملکرد گندم نتایج کاملاً متفاوتی را در برابر تاثیرپذیری از ابعاد مختلف تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن نشان می‌دهند. لذا در بیان تاثیر خالص تغییر اقلیم، می‌بایست اثرات توأم عواملی نظیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، نوسان دما و روند بارش و تابش را در نظر گرفت.

در دوره ۲۰۲۵ و تحت سناریو RCP4.5 (غلظت دی-اکسید کربن ۴۳۲ppm)، کمترین کاهش عملکرد نسبت به فصل رشد و نمو ۲۰۱۹-۲۰۲۰ مشاهده شد. با این وجود به نظر می‌رسد افزایش دما ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش بویژه در انتهای دوره‌ی رشد و نمو گندم آبی رقم مهرگان در منطقه ورامین، اثرات سودمند افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را بی‌اثر کرد. ژیاو و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که تاثیر افزایش غلظت دی-اکسید کربن تحت سناریوهای RCP، از یک طرف باعث



شکل ۱۱- ارزیابی عملکرد دانه گندم آبی رقم مهرگان در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شرایط تنش خشکی

گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه و روز تا رسیدگی تغییر چندانی نداشت و تقریباً یکسان بود. اما نتایج ارزیابی طول دوره صفات مذکور تحت تنش خشکی در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 در مقایسه با طول دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، نشان داد که طول دوره‌ی روز تا گلدهی، شروع و پایان پر شدن دانه و روز تا رسیدگی دانه، به طور بسیار قابل توجهی کوتاه‌تر شد. ارزیابی میزان تولید ماده خشک و عملکرد دانه تحت تاثیر رویداد تغییر اقلیم در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 نشان از کاهش آنها در شرایط وقوع تنش خشکی در مراحل آبستنی و گلدهی در مقایسه با شرایط بدون تنش خشکی بود. در این میان در دوره ۲۰۸۵ تحت سناریو RCP8.5 وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی با بیشترین کاهش میزان عملکرد دانه همراه بود. بنابراین بر اساس نتایج بدست آمده، می‌توان

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی گندم آبی رقم مهرگان تحت تنش خشکی در شرایط تغییر اقلیم نشان داد که در طول دوره‌ی رشد ۲۰۱۹-۲۰۲۰، مدل شبیه‌ساز رشد و نمو SSM با دقت بسیار قابل قبولی توانایی مراحل فنولوژیکی راشبیه‌سازی کرد. همچنین ارزیابی تاثیر شرایط تغییر اقلیم حاکی از افزایش پارامترهای دمای بیشینه و کمینه در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۵ و ۲۰۸۵ تحت هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه بود. این در حالی بود که میزان بارش در سناریو RCP8.5 در طول دوره‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ روندی کاهش نشان داد. بر پایه یافته‌ها، طول دوره‌ی روز تا گلدهی، شروع و پایان پر شدن دانه و روز تا رسیدگی دانه در دوره‌ی رشد ۲۰۲۰-۲۰۱۹، در شرایط بدون تنش، تنش در مراحل آبستنی،

سیاسگزاری

بایسته است که از مساعدت و همکاری مدیریت اداره آموزش کشاورزی روستای خاوه در شهرستان ورامین کمال تشکر و قدردانی بعمل آید.

اینگونه اظهار داشت که افزایش غلظت CO₂ در دوره‌های مورد بررسی تحت سناریوهای اقلیمی RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، قادر خواهد بود تا اثرات منفی افزایش دما و در برخی دوره‌ها که با کاهش بارندگی همراه بود، را تا حدی کاهش دهد. بنابراین رخداد تغییر اقلیم و بروز تنش خشکی می‌تواند تهدیدی جدی و قابل تامل در کشاورزی و تولید پایدار باشد.

منابع مورد استفاده

- Abbasi F, Babaeian I, Habibi-Nokhandan M, Goli-Mokhtari L, Malboosi Sh, and Askari, Sh. 2010. Evaluation of the effect of climate change on temperature and precipitation in Iran in the coming decades, using the MAGICC- SCENGEN model. *Natural Geography Research*, 72:91-109 (In Persian).
- Adavi z, Tadayon MR, and Baghani Arani A. 2018. The effect of climate change on potato production and evaluation of adaptation strategies in the climatic conditions of Fereydunshahr region. *Plant Process and Function*, 8(29): 151-169 (In Farsi).
- Austin KG, Beach RH, Lapidus R, Salem ME, Taylor NJ, Knudsen M, and Ujeneza N. 2020. Impacts of Climate Change on the Potential Productivity of Eleven Staple Crops in Rwanda. *Sustainability*, 12. 1-12.
- Azizi Kh, Daraei Fard A, Nasiri B, and Feyzian M. 2018. Effects of climate change on growth stages of broad leaf vetch (*Vicia narbonensis* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Khorramabad). *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(39): 100-110 (In Persian).
- Basal O, and Szabo A. 2020. Physiomorphology of Soybean as Affected by Drought Stress and Nitrogen Application. *Hindawi Scientifica*, 1: 1-7.
- Baziarpur, H., Raeini-Sarjaz, M., Shiukhy-Sughanlu, S. 2020. Influence of rice straw management on emissions of methane and carbon dioxide greenhouse gases during the second rive cropping (Case study: Sari, Iran). *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(1): 35-43 (In Persian).
- Deihimfard R, Eyni Nargeseh H, and Farshadi Sh. 2017. Modeling the Effects of Climate Change on Irrigation Requirement and Water Use Efficiency of Wheat Fields of Khuzestan Province. *Journal of Water and Soil*, 31(4): 1015-1030. (In Persian).
- Dogan HG, and Karakas G. 2018. The effect of climatic factors on wheat yield in Turkey: A Panel Dols Approach. *Fresenius Environ Bull* 27: 4162–4168.
- Eyni-Nargeseh H, Deyhimfard R, Soufizadeh S, Haghighat M, and Nouri O. 2015. Predicting the effects of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Journal of Crop Production*, 8(4), 203-224 (In Persian).
- Fahad SH, Bajwa A, Nazir U, Anjum SH, Farooq A, Zohaib A, Sadia Sh, Nasim W, Adkins S, Shah Saud SH, Ihsan M. Z, Alharby H, Wu CH, Wang D, and Huang J. 2017. Crop Production under Drought and Heat Stress. *Plant Responses and Management Options*, 8. 1147-1161.
- Finger R, and Schmid S. 2007. Modeling agricultural production risk and the adaptation to climate change. Presentation at the EAAE seminar management of climate risks in agriculture. Berlin, Germany, July 5-6.
- Francia E, Tondelli A, Rizza F, Badeck FW, Thomas WTB, van Eeuwijk Romagosa I, Stanca AM, and Pecchioni N. 2013. Determinants of barley grain yield in drought-prone Mediterranean environments. *Italian Journal of Agronomy*, 8 (1). 1-8.

- Ghorbani Kh, and Soltani A. 2013. The effect of climate change on soybean yield in Gorgan. Journal of Plant Production. Journal of Plant Production Research, 21(2): 67-85 (In Persian).
- Hoseini ST, Khoshravesh M, and Ziatabar Ahmadi M. 2016. Investigating the effect of climate change and evaluating planting change on soybean yield. Journal of Water Research in Agriculture, 29(4): 559-575 (In Persian).
- Khalili Aghdam N, Mosaedi A, Soltani A, and Kamkar B. 2012. Evaluation of the ability of LARS-WG model in predicting some atmospheric parameters of Sanandaj. Water and Soil Conversation, 31(4): 85-102 (In Farsi).
- Koochaki A, and Kamali, A. 2010. Climate change and wheat production in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(3): 508-520 (In Persian).
- Koocheki A, Nassiri M, Soltani A, Sharifi H, Ghorbani R. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research, 30: 247-253.
- Krishnan R, Sabin TP, Madhura TP, Vellore RK, Mujumdar M, Sanjay J, Nayak S, and Rajeevan M. 2018. Non-monsoonal precipitation response over the Western Himalayas to climate change. Climate Dynamics, 52. 4091-4109.
- Ma Y, Celeste Dias M, and Freitas H. 2020. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants, Frontiers in Chemistry. 11. 1-18.
- Mehraban A, Tobe A, Gholipour A, Amiri E, Ghafari A, and Rostaii M. 2019. The Effects of Drought Stress on Yield, Yield Components, and Yield Stability at Different Growth Stages in Bread Wheat Cultivar (*Triticum aestivum* L.). Polish Journal Environmental Studies. 28 (2). 739-746.
- Mohammadi E, Movahedi S, Mohammadi R, and Golkari S. 2020. Investigation of the occurrence of climate change and its effect on the phenology and yield of dryland wheat in the western and northwestern regions of Iran. Journal of Climatological Research, 11(43): 159-170 (In Persian).
- Moradi R, Koocheki, A, and Nasiri-Mahalati M. 2013. The effect of climate change on corn production and evaluation of planting date change as a solution to adaptation to the climatic conditions of Mashhad. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 23(4): 112-130 (In Persian).
- Paknejad F, Moayeri Por Sh, Aghayari F, and Ilkaei MN. 2017. Simulation of Maize Yield with Different Levels of Nitrogen by Using DSSAT Model. Journal of Crop Ecophysiology, 11(3): 503-518 (In Persian).
- Pymard, P., Banayan, M., Sadr Abadi, R. 2015. Evaluation of climate change effects on phonological stages and yield of irrigated wheat in Khorasan Razavi climate. Iranian National Congress on Irrigation and Drainage, 2-4 September, Isfahan, Iran. Pp. 243-255.
- Rahimi-Moghaddam S, Eyni Nargeseh H, Deihimfard R, and Haghghat M. 2019. Simulating climate change effect on maize grain yield in Kermanshah province using a process-based simulation model. Iranian Journal of Crop Sciences, 20(3): 315-328 (In Persian).
- Rauf S, and Sadaqat HA. 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Plant Interactions, 2: 41-51.
- Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, and Xu J. 2019. Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome. A Review. Plants, 8 (34). 1-29.
- Roberts EH, and Summerfield RJ. 2007. Measurement and prediction of flowering in annual crops. In: Atherton, J.G. (Ed.), Manipulation of Flowering. Butterworths, London, 17-50 pp.
- Saeidi M, and Abdoli M. 2015. Effect of Drought Stress during Grain Filling on Yield and Its Components, Gas Exchange Variables, and Some Physiological Traits of Wheat Cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology, 17: 885-898.
- Shiukhy-Soqanloo S, Mousavi-Baygi M, Torabi B, and Raeni-Sarjaz M. 2021a. Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin).

Journal of Agricultural Meteorology, 9(2): 15-28 (In Persian).

- Shiukhy-Soqanloo S, Mousavi-Baygi M, Torabi B, and Raeini-Sarjaz M. 2021b. The Climate Change Effect on Crop Development, Growth and Yield under Drought Stress by Using SSM Model. PhD. Agricultural Faculty, Ferdowsi University of Mashhad.
- Soltani A, and Sinclair TR. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. Field Crop Research. 124, 252-260.
- Soltani A. and Gholipoor M. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. Journal of Agricultural Natural Resources, 13(2): 1-11 (In Persian).
- Soltani A. and Sinclair TR. 2012. Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield. CAB International, Wallingford, UK.
- Vanli O, Berk Ustundag B, Ahmed I, Hernandez-Ochoa IM, and Hoogenboom G. 2019. Using crop modeling to evaluate the impacts of climate change on wheat in southeastern turkey. Environmental Science and Pollution Research. 10: 1-19.
- Wayne GP. 2013. The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. Skeptical Science, Version 10, 24pp.
- Wei Y, Jin J, Jiang Sh, Ning Sh, and Liu L. 2018. Quantitative Response of Soybean Development and Yield to Drought Stress during Different Growth Stages in the Huaibei Plain, China. Agronomy, 9: 1-16.
- Xiao D, Bai H, and Liu DL. 2018. Impact of Future Climate Change on Wheat Production: A Simulated Case for China's Wheat System. Sustainability. 10, 1-15.
- Zali H, Hasanloo T, Sofalian O, and Asghari A. 2020. Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Environmental Stresses on Crop Sciences, 3(13): 735-747 (In Farsi).
- Zinali Mobarakeh Z, Deyhim Fard R, and Kambuzia J. 2019. Evaluation of the effects of climate change and adaptation strategies on the yield and water use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.), Case study of Khorasan Razavi province. Journal of Plant Production Research, 26(3): 71-87 (In Persian).