

Modeling the impacts of optimizing sowing date in mitigating the effect of temperature increase caused by climate change on maize (*Zea mays* L.) yield in Kermanshah province

Amir Kafaie Ghaeini¹, Afshin Soltani², Reza Deihimfard^{3*}, Hossein Ajam Norouzi⁴

¹ PhD Student, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, Email: kafaie.amir@gmail.com

² Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences, and Natural Resources, Gorgan, Iran, afshin.soltani@gmail.com

^{3*} Corresponding author, Associate Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, deihim@sbu.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran, ajamnorozei@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Full Paper

ABSTRACT

Background and Objectives: Climate change is considered as the most important threat to sustainable development in the current era. In this context, the agricultural sector receives the greatest impact from climate change due to extensive and direct interactions with its environment. The increase in temperature and heat stress caused by climate change is one of the biggest risks and concerns for grain maize production. Accordingly, it is necessary to investigate solutions to deal with the declining maize grain yield.

Materials and methods: Therefore, in order to better understand the optimization of sowing date in mitigating the effects of temperature increase on grain maize (*Zea mays* L.) yield in six regions including Islamabad, Kangavar, Kermanshah, Ravansar, Sararood and Sarpol Zahab in Kermanshah province, simulation and crop model were used. In this study, climate data for the years 1980-2009 (as the base period) were received from the Meteorological Organization, and meteorological data for the future period 2040 to 2069 were generated using the HadGEM2-ES general circulation model. Exponential downscaling of climate-generating climate parameters was performed with climate scenario generation tools in the form of the AgMIP project and in R software. The IPCC Fifth Assessment Report was used to simulate future climate conditions under two climate scenarios RCP4.5 and RCP8.5. After simulating the future climate and generating the required parameters (minimum temperature, maximum temperature, precipitation, and solar radiation), growth and development simulation was performed using the SSM-Maize crop model under current conditions and climate change conditions, and the role of changing the sowing date as an adaptation option in dealing with the adverse effects of temperature increase in six cities of Kermanshah province with different climatic conditions was evaluated.

Article history:

Received: 2024-12-03

Accepted: 2025-06-16

Keywords:

Climate change
Climate Scenarios
Maize
Temperature rise
SSM-Maize model

Results: The results showed that the average grain yield in all locations (except Sarpul Zahab) declined up to -3.8% and -6.5% under RCP4.5 and RCP8.5, respectively, compared to the baseline. The decline is largely due to the shortening of the crop growth period and the increase in average air temperature throughout the growing season. Based on the findings of this research, maize crop under climate change conditions can experience more moderate temperature conditions and a longer growing season by changing sowing dates, which could have a significant effect in reducing the adverse effects of rising temperatures on crop yield. In fact, with climate change, early sowing (the earliest sowing date) in areas such as Islamabad, Kermanshah, Ravansar, and Sararood, which are part of a cold climate, resulted in an increased grain yield by +2.61 and +4.54% under RCP4.5 and RCP8.5, respectively, while delaying the sowing date (May 19th) in Sarpol Zahab, which is part of the hot climate, could increase grain yield by +2.11 and +6.29% under RCP4.5 and RCP8.5, respectively, compared to common sowing dates.

Conclusion: Changing the sowing date can be a simple and effective solution to reduce the negative effects of rising temperatures due to climate change on maize grain yield in various climates of Kermanshah province. The findings of the current study showed that along with breeding activities, policy makers and extension agents of the agricultural sector can help farmers reduce the adverse effects of climate change on grain maize by compiling the cropping calendar and choosing the appropriate sowing date based on future climatic conditions.

Cite this article: Kafaie Ghaeini, A., Soltani, A., Deihimfard, R., Ajam Norouzi, H. 2025. Modeling the impacts of optimizing sowing date in mitigating the effect of temperature increase caused by climate change on maize (*Zea mays* L.) yield in Kermanshah province. *Crop Production Journal*, 18 (2), 19-44.



© The Author(s).

DOI: [10.22069/ejcp.2025.23047.2654](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23047.2654)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹۸
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



مدل سازی تاثیر بهینه سازی تاریخ کاشت در تخفیف اثر افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) در استان کرمانشاه

امیر کفائی قائینی^۱، افشین سلطانی^۲، رضا دیهیم فرد^{۳*}، حسین عجم نوروزی^۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: kafaie.amir@gmail.com

^۲ استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: afshin.soltani@gmail.com

^{۳*} نویسنده مسئول، دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، رایانامه: deihim@sbu.ac.ir

^۴ دانشیار گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: ajamnoroezi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: تغییر اقلیم در عصر حاضر به عنوان مهمترین تهدید برای توسعه پایدار مطرح است، بخش کشاورزی به سبب تعاملات گسترده و مستقیم با محیط، بیشترین تاثیر را از تغییر اقلیم می پذیرد. افزایش دما و تنش گرما ناشی از تغییر اقلیم به عنوان یکی از بزرگترین خطرهای و نگرانی ها برای تولید ذرت دانه ای است و بررسی راهکارهای مقابله با کاهش عملکرد ذرت دانه ای در هر منطقه ضروری است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷	مواد و روش ها: لذا به منظور شناخت بهتر بهینه سازی تاریخ کاشت در تخفیف اثرات افزایش دما بر عملکرد ذرت دانه ای (<i>Zea mays</i> L.) در شش منطقه اسلام آباد، کنگاور، کرمانشاه، روانسر، سرارود و سرپل ذهاب در استان کرمانشاه از شبیه سازی و مدل گیاهی استفاده گردید. در این پژوهش اطلاعات اقلیمی مربوط به سال های ۱۹۸۰-۲۰۰۹ (به عنوان دوره پایه) از سازمان هواشناسی دریافت شد. تولید اطلاعات هواشناسی در دوره آینده ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES صورت گرفت. ریز مقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی مولد آب و هوایی با ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی در قالب پروژه AgMIP و در نرم افزار R انجام شد. برای شبیه سازی شرایط اقلیمی دوره آینده تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 از گزارش ارزیابی پنجم IPCC استفاده شد. پس از شبیه سازی اقلیم آینده و تولید پارامترهای مورد نیاز (دمای کمینه، دمای بیشینه، بارندگی و تشعشع خورشیدی)، شبیه سازی رشد و نمو ذرت با استفاده از مدل زراعی SSM-Maize، در شرایط فعلی و شرایط تغییر اقلیم انجام و نقش تغییر تاریخ کشت به عنوان یک گزینه سازگاری در مواجهه با اثرات نامطلوب افزایش دما در شش شهرستان مورد مطالعه با شرایط اقلیمی متفاوت، مورد ارزیابی قرار گرفت.
واژه های کلیدی:	قرار گرفت.
تغییر اقلیم افزایش دما مدل SSM-Maize سناریوهای اقلیمی و ذرت	یافته ها: نتایج این پژوهش نشان داد که به طور میانگین کاهش عملکرد ذرت دانه ای در تمامی تاریخ کشت ها (همه مناطق به غیر از سرپل ذهاب) با افزایش دما در سناریوی اقلیمی RCP4.5 برابر با ۳/۸- درصد بود در حالی که تحت شرایط سناریوی اقلیمی RCP8.5 عملکرد با افت

بیشتری (۶/۵- درصد) در مقایسه با دوره پایه همراه بود که این کاهش عملکرد به دلیل کوتاه شدن طول دوره رشد محصول و افزایش میانگین دمای هوا در کل فصل رشد است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، کشاورزان در شرایط تغییر اقلیم می‌توانند با تغییر در تاریخ کشت محصول، شرایط دمایی معتدل‌تر و طول فصل رشد بیشتری را برای گیاه زراعی مهیا کنند که این راهکار تاثیر بسزایی در کاهش اثرات نامطلوب تغییر اقلیم بر عملکرد گیاه زراعی خواهد داشت. در واقع، با وقوع پدیده تغییر اقلیم، تعجیل در کشت (اولین تاریخ کاشت مورد بررسی) در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم پایه در مناطقی مانند اسلام آباد، کرمانشاه، روانسر و سرارود که جزو اقلیم سرد هستند به طور میانگین باعث افزایش عملکرد ۲/۶۱ و ۴/۵۴ درصد به ترتیب در سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شد، در حالیکه در سرپل ذهاب که جزو اقلیم گرم است، تاخیر در زمان کاشت محصول (تیمار ۳۰ اردیبهشت) به ترتیب باعث افزایش عملکرد ۲/۱۱ و ۶/۲۹ درصد در سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شد.

نتیجه‌گیری: مدیریت مناسب تاریخ کشت برای تعدیل اثرات منفی افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد دانه گیاه ذرت را می‌توان به عنوان یک راهکار مناسب و موثر در استان کرمانشاه در نظر گرفت تا از کاهش عملکرد به دلیل انتخاب تاریخ کاشت نامناسب جلوگیری نمود.

استناد: کفائی قائینی، امیر؛ سلطانی، افشین؛ دیهیم فرد، رضا؛ عجم نوروژی، حسین. (۱۴۰۴). مدل‌سازی تاثیر بهینه سازی تاریخ کاشت در تخفیف اثر افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت (*Zea mays L.*) در استان کرمانشاه. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۲)، ۱۸-۱۹.



© نویسندگان.

DOI: [10.22069/ejcp.2025.23047.2654](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23047.2654)
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تأثیرات نامطلوب تغییر اقلیم جهانی بر تولید محصولات، خطرات عمده‌ای برای امنیت غذا و تغذیه در قرن حاضر دارد. از این رو، سازگاری و کاهش اثرات نامطلوب آب و هوا برای حفظ عرضه غذا برای جمعیت رو به افزایش جهان بسیار مهم است (۲۰۱۱). طبق گزارش چهارم هیأت بین دولت تغییر اقلیم (IPCC)^۱ اگر کشورها انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند، میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بر مبنای سناریوهای مختلف اقلیمی از ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتی گراد نسبت به صد سال گذشته، افزایش می‌یابد (۳).

یکی از اثرات تغییر اقلیم بر روی عملکرد گیاهان زراعی بویژه ذرت، اثر افزایش دما به خصوص دماهای حدی در طول فصل رشد ذرت می‌باشد. تنش گرما به عنوان یکی از بزرگترین خطرهای نگرانی‌ها برای تولید ذرت دانه‌ای به ویژه در مناطق گرم و خشک است. عملکرد دانه ذرت به شکل‌های مختلفی به وسیله تنش گرما تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اولین اثر دماهای بالا بر ذرت، تأثیر بر کاهش طول دوره رسیدگی می‌باشد که سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (۴).

رشد سطح برگ (LAI) ذرت در دماهای بین ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد، در حالی که در دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی گراد شروع به پیری زودرس می‌کنند (۵). همچنین دماهای بین ۳۳ تا ۳۶ درجه سانتی گراد در قبل و بعد از گل‌دهی ذرت، موجب کاهش در نرخ تبادل CO_2 (۱۷٪)، نرخ رشد محصول (۱۷-۲۹٪)، تعداد دانه (۷-۴۵٪) و عملکرد دانه (۱۰-۴۵٪) می‌شود (۶). در طول گل‌دهی، دمای بالا بر تعداد گلچه، تعداد ابریشم و رشد دانه تأثیر منفی می‌گذارد (۷). تنش گرمایی در طول فاز تولید مثل باعث خشکی ابریشم، عقیمی گرده‌ها و جوانه‌زنی

ضعیف بذر می‌شود که منجر به کاهش شدید عملکرد می‌شود (۸). در پاسخ به محرک‌های تنش گرمایی، مکانیسم دفاعی گیاهان تمایل به فرار یا اجتناب از دوره تنش از طریق انعطاف‌پذیری فنوتیپی دارد، که مدت پر شدن دانه را کاهش می‌دهد (۹). به طور کلی تنش گرما در ذرت از طریق کوتاه کردن چرخه زندگی گیاه (۱۰) کاهش تشعشع جذبی، افزایش تنفس، کاهش فتوسنتز و عقیمی دانه گرده عملکرد دانه ذرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۱).

در این راستا تغییر روش‌های مدیریتی جهت سازگاری با تغییر اقلیم باید توسط کارشناسان و کشاورزان در نظر گرفته شوند. منظور از سازگاری نیز راهکارهای است که رشد و نمو گیاه زراعی به گونه‌ای تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی به صورت مکرر قرار گیرد (۱۲). راهکارهای سازگاری با توجه به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت هستند. از جمله این راهکارها می‌توان به تغییر در تاریخ کاشت، تراکم کاشت (۱۳)، بکارگیری ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، مدیریت آبیاری، تغییر در تناوب کاشت و سایر موارد اشاره نمود (۱۴ و ۱۵). نیگل سو و مندلسون (۲۰۰۸)، گیونز و رمزدن (۲۰۰۸)، ترانکا و همکاران (۲۰۰۴)، مزا و همکاران (۲۰۰۸)، لو و همکاران (۲۰۰۹) و بایش و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی می‌تواند با استفاده از تغییر تاریخ کاشت، تغییر الگوی کشت، به کارگیری رقم‌های پر تولید و مقاوم و ترویج گیاهان جدید شامل گیاهان فراموش شده و کمتر استفاده شده کاهش یابد. در تحقیقات مختلف تغییر تاریخ کاشت بعنوان ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین راهکار سازگاری مورد توجه قرار گرفته است (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱). برای مثال در مطالعه رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۱۸) در جنوب ایران

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

استراتژی‌های سازگاری برای ارقام ذرت در شرایط تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت. این استراتژی‌ها شامل ارقام مختلف و مدیریت تاریخ کشت بود. نتایج این بررسی نشان داد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام همراه با استفاده از ارقام زودرس برای کشت زمستانه مناسب می‌باشند و عملکرد بالاتری دارند. با این وجود این برهمکنش برای کشت تابستانه ذرت مناسب نبود و برهمکنش تاریخ کاشت دیر هنگام و ارقام دیررس بهترین راهکار برای مقابله با تغییر اقلیم در این فصل کشت بود. آنها همچنین گزارش کردند که اگر کشاورزان در این منطقه گزینه‌های سازگاری مانند تغییر تاریخ کشت و استفاده از رقم مناسب را استفاده نکنند، احتمال دستیابی به عملکرد اقتصادی ذرت در این منطقه به کمتر از ۵۰ درصد خواهد رسید. مرادی و همکاران (۲۰۱۳) شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژیکی، شاخص سطح برگ، عملکرد زیست توده و دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم آینده و بررسی امکان کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید ذرت با تغییر تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار سازگاری در استان خراسان رضوی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی مشخص کرد که عملکرد ذرت تحت تاثیر تغییر اقلیم از ۱۱ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط حاضر کاهش نشان می‌دهد. به‌طور کلی کاشت زود هنگام ذرت در تاریخ ۱۰ اردیبهشت باعث تولید عملکرد بالاتری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت شامل ۲۰ اردیبهشت و ۱ خرداد در شرایط اقلیم آینده شد. به نظر می‌رسد مدیریت مناسب تاریخ کاشت برای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت می‌تواند به عنوان یک استراتژی مطلوب در نظر گرفته شود (۲۳). آبراه و سویج (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای در جنوب آفریقا اثر بالقوه تغییر اقلیم را بر عملکرد ذرت مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که تغییر تاریخ کشت در شرایط حاضر تأثیر محسوسی بر

عملکرد دانه محصول ندارد، اما در صورت تغییر اقلیم، کشت زود هنگام موجب افزایش عملکرد دانه در شرایط اقلیمی آینده می‌شود (۲۴). در استرالیا لو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تاریخ کشت زودتر را می‌توان به عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم در نظر گرفت (۱۹).

آمار منتشره توسط سازمان جهاد کشاورزی (۱۴۰۲) نشان می‌دهد که حدود ۲۳۳ هزار تن ذرت دانه‌ای کشور (نزدیک به ۲۰/۵ درصد از کل ذرت برداشت می‌شود و به همین واسطه این استان دومین قطب تولید ذرت دانه‌ای در ایران در سال‌های اخیر بوده است (۲۵). در این تحقیق تغییر تاریخ کاشت به عنوان راهبردی جهت کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم، به ویژه افزایش دمای ناشی از آن بر عملکرد ذرت دانه‌ای در استان کرمانشاه مورد بررسی و پژوهش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه: این مطالعه در استان کرمانشاه با اقلیم نیمه خشک و خنک در غرب ایران به انجام رسید. مناطق مورد بررسی در این استان شامل شهرستان‌های سرپل ذهاب، اسلام آباد، روانسر، کرمانشاه، سرارود و کنگاور بودند. معیار انتخاب این مناطق سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای، تنوع اقلیمی و همچنین توزیع و پراکنش مناسب در سطح استان کرمانشاه بود (شکل ۱). میانگین بلند مدت دمای سالانه هوا در مناطق مورد بررسی مربوط به سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۹ (دوره پایه) ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد است که از ۱۳/۰۳ (شهرستان کنگاور) تا ۲۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد (شهرستان سرپل ذهاب) تغییرات داشت. بر اساس اطلاعات دریافت شده مناطق مورد مطالعه در دوره پایه از سازمان هواشناسی، مجموع بارش سالیانه

به طور میانگین در تمام مناطق ذکر شده برابر با ۴۴۵/۶ میلی متر بود که کمترین مقدار در شهرستان کنگاور (۴۰۲/۶ میلی متر) و بیشترین مقدار به میزان ۵۲۰/۸ میلی متر در شهرستان روانسر مشاهده شد. بخش عمده ای از نزولات جوی در این استان در فصل های

پاییز و زمستان صورت می گیرد به طوری که مجموع بارش ماه های اردیبهشت تا شهریور که مقارن با دوره رشد گیاه ذرت است، کمتر از ۳۰ میلی متر در سطح استان می باشد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the study locations

شهرستان County	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	نوع اقلیم Climate type	ارتفاع از سطح دریا (m) (m) Altitude	متوسط دمای میانگین سالانه (C°) Average annual temperature (°C)	دمای کمینه Min.temp (°C)	دمای بیشینه Max.temp (°C)
اسلام آباد Eslamabad	46° 05'	34° 15'	مدیترانه ای سرد Cold Mediterranean	1350	13.73	5.06	22.38
کنگاور kangavar	47° 99'	34° 5'	نیمه خشک سرد Cold semi-arid	1470	13.03	4.53	21.53
کرمانشاه Kermanshah	47° 01'	34° 32'	نیمه خشک سرد Cold semi-arid	1320	14.96	6.72	23.19
روانسر Ravansar	46° 07'	34° 7'	مدیترانه ای سرد Cold Mediterranean	1380	15.02	8.29	21.74
سرارود Sararood	47° 33'	34° 33'	نیمه خشک سرد Cold semi-arid	1353	14.53	6.54	22.51
سرپل ذهاب Sarpol zahab	45° 09'	34° 44'	نیمه خشک گرم Hot semi-arid	545	20.09	12.00	28.17

اطلاعات روزانه تشعشع در ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه، داده های ساعت آفتابی به تشعشع روزانه (مگاژول بر متر مربع در روز) تبدیل شد. برای این موضوع، تشعشع روزانه (R_s)، مگاژول در مترمربع با استفاده از ساعت آفتابی (n)، طول روز (N)، تشعشع فرازمینی (R_a) و معادله آنگستروم (۲۶) محاسبه شد:

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N}\right) R_a$$

معادله ۱

پارامترهای a و b ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند. در این تحقیق مقدار پارامترهای a

جمع آوری داده ها: داده های آب و هوایی بلند مدت روزانه (از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹) هر منطقه شامل بارش (میلی متر) بیشینه و کمینه دما (درجه سانتی گراد) و تعداد ساعات آفتابی از سازمان هواشناسی ایران جمع آوری شدند. بررسی اولیه داده های هواشناسی از نظر ثبت داده در تمامی روزها صورت گرفت و در مواردی که مورد نیاز بود، از نرم افزار WeatherMan برای بازسازی و اصلاح داده های هواشناسی استفاده شد. با توجه به این که مدل های زراعی تشعشع را به عنوان ورودی نیاز دارند و همچنین با توجه به عدم ثبت

و b برای مناطق مختلف استان کرمانشاه به ترتیب ۲۵٪ و ۵٪ در نظر گرفته شد.

علاوه بر داده‌های هواشناسی، اطلاعات خاک یکی از کلیدی‌ترین ورودی‌ها در بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی می‌باشد. کو و دیمس (۲۰۱۳) اقدام به تهیه پروفیل‌های عمومی خاک بر اساس سه معیار بافت خاک، عمق خاک زراعی و کربن آلی کردند که پاسخگوی اکثر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است. این نقشه‌ها با عنوان HC27 شناخته می‌شود. این نقشه‌ها، بر اساس بافت خاک، سه گروه رسی (clay)، لومی (loam) و شنی (sand)، براساس کربن آلی سه گروه حاصلخیزی زیاد، متوسط و کم، و براساس عمق خاک، سه عمق کمتر از ۹۰ سانتی‌متر، بین ۹۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر و بیشتر از ۱۵۰ سانتی‌متر تعریف شده است. در مجموع، پروفیل‌های عمومی خاک شامل ۲۷ نوع پروفیل ($3 \times 3 \times 3$) است که از ۱ تا ۲۷ شماره‌گذاری شده‌اند، برای تهیه نقشه خاک HC ۲۷ همه مناطق جهان با پیکسل‌هایی به اندازه ۵ دقیقه (در حدود 10×10 کیلومتر) شبکه بندی شده است. در هر شبکه با توجه به کلاس‌های سه متغیر مورد نظر نقشه‌های خاک تولید و بر اساس فرمت قابل استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی تهیه شده‌اند (۲۷). لازم به توضیح است که فرمت اطلاعات تهیه شده در این نقشه خاک، قابل استفاده در مدل شبیه‌سازی SSM^۱ که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته نیز می‌باشد (۲۸).

شبیه‌سازی اقلیم آینده: برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده از داده‌های بلند مدت روزانه اقلیمی دوره پایه (سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۹)، شامل بارش، بیشینه و کمینه دما و تشعشع خورشیدی استفاده شد. به این منظور از مدل اقلیمی HadGEM2-ES برای تولید داده‌های هواشناسی اقلیم آینده استفاده شد که معیار

انتخاب این مدل، دقت بالای آن در بازتولید داده‌های اقلیم در ایران بود (۲۹، ۳۰ و ۳۱).

با توجه به این که تفکیک مکانی و زمانی کم یکی از محدودیت‌های استفاده از مدل‌های اقلیمی از جمله مدل اقلیمی HadGEM2 است، نتایج حاصل از این مدل‌ها در مقیاس ماهانه قابل دسترس است، از این رو از پروتکل AgMIP برای تبدیل خروجی‌های ماهانه اقلیم آینده به مقیاس روزانه (ریزمقیاس نمایی داده‌های هواشناسی) استفاده شد (۳۲ و ۳۳). برای این کار از یک مجموعه کد نوشته شده توسط موسسه AgMIP به زبان برنامه نویسی R استفاده شد که در آن داده‌های اقلیمی دوره پایه شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش به فرمت مورد نیاز تهیه شده و به عنوان ورودی وارد مجموعه کد شدند.

در گزارش پنجم IPCC، تغییرات آینده گازهای گلخانه‌ای در قالب چهار سناریو اقلیمی پیش‌بینی شده است که به عنوان سناریوهای خط سیر غلظت (RCP) ارائه شده‌اند و شامل سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند (۳۴). در این مطالعه داده‌های اقلیمی روزانه آینده با استفاده از روش AgMIP تحت دو سناریو خوشبینانه (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) برای دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ تخمین زده شدند.

غلظت دی اکسید کربن برای دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) برابر با ۳۶۰ پی پی ام لحاظ گردید، اما با توجه به اینکه در سناریوهای خط سیر غلظت (RCPs)، غلظت دی اکسید کربن در هر سناریو و هر سال متغیر می‌باشد، لذا برای بدست آوردن غلظت دی اکسید کربن در آینده با استفاده از گزارش پنجم IPCC غلظت دی اکسید کربن محاسبه و معین گردید، این مقدار برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره

¹ Simple Simulation Model

آینده به ترتیب برابر با ۴۹۹ و ۵۷۱ پی پی ام در نظر گرفته شد (۳۴).

مدل زراعی و آزمایش های شبیه سازی: در این تحقیق از مدل SSM که توسط سلطانی و سینکدر (۲۰۱۲) ارائه شده است (۳۹)، برای شبیه سازی رشد گیاه ذرت استفاده شد. وجه تمایز این مدل نسبت به سایر مدل های موجود، بومی بودن آن است. مدل SSM با دارا بودن تعداد فراوانی فرضیه و پارامتر به عنوان جایگزینی برای مدل های پیچیده به شمار می آید (۴۰). این مدل فرآیندهای رشد و نمو گیاه را در پاسخ به فاکتورهای محیطی از جمله تشعشع خورشیدی، دما، نیتروژن و قابلیت دسترسی آب شبیه سازی می کند. در مدل SSM مقدار عملکرد بر مبنای داده های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت (مانند آبیاری) و پارامترهای گیاهی محاسبه می شود (۴۱ و ۴۲). مدل SSM مراحل فنولوژیک، گسترش و پیری سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک، موازنه نیتروژن گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب و نیتروژن خاک را به صورت روزانه شبیه سازی می کند (۴۳).

مدل SSM-Maize پیش تر توسط زینلی (۲۰۰۵) برای رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ پارامتریابی و تحت تاریخ کاشت ها و تراکم های مختلف ارزیابی شده و نتایج نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد دانه است. به طوری که میانگین مربعات خطا برای روز تا شروع رشد دانه و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برابر با ۰/۰۴ و ۰/۱۵ روز بود. همچنین ضریب تغییرات و ضریب تبیین برای ماده خشک کل در متر مربع در مرحله برداشت به ترتیب برابر با ۸/۱۹ و ۸۳٪ بود و برای عملکرد دانه در متر مربع به ترتیب برابر با ۴/۱۱ و ۷۶٪ بود که نشان دهنده دقت خوب این مدل برای شبیه سازی میزان ماده خشک کل در متر مربع در مرحله رسیدگی برداشت و میزان عملکرد دانه در متر مربع در گیاه ذرت است، با توجه به اینکه رقم سینگل کراس ۷۰۴، غالب ترین رقم ذرت در مناطق مورد مطالعه است که توسط کشاورزان استفاده می شود، در تحقیق حاضر از ضرایب و پارامترهای رقم سینگل کراس ۷۰۴ (جدول ۲) استفاده شد که پیشتر برای بسیار از مناطق ایران صحت سنجی شده است (۴۴).

جدول ۲- پارامترهای رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ (زینلی، ۲۰۰۵)

Table 2- Parameters of Maize Single-Cross 704 (Zeinali, 2005)

مقدار Value	پارامتر Parameter
3	روز بیولوژیک از کاشت تا سبز شدن (روز) Biological day from planting to emergence (day)
8.5	روز بیولوژیک از مرحله سبز شدن تا انتهای مرحله جوانی (روز) Biological day from germination to the end of the juvenile stage (day)
33.8	روز بیولوژیک از مرحله ابریشم دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (روز) Biological day from silking stage to physiological maturity stage (days)
0.52	ضریب حساسیت به فتوپریود Photoperiod sensitivity coefficient (0-1)
38.9	فیلولکرون Phyllochron ($^{\circ}\text{Cd node}^{-1}$)
2.9	ضریب توانی که سطح برگ گیاه را به تعداد برگ اصلی ساقه مرتبط می کند Power coefficient that relates plant leaf area to main stem leaf number
0.015	سرعت خطی افزایش روزانه در شاخص برداشت Daily linear rate of increase in harvest index

علاوه بر این، در آخرین ارزیابی انجام شده بر روی مدل SSM برای شبیه سازی رشد و نمو گیاه ذرت توسط بیاتیان (۲۰۲۳) که با استفاده از خروجی های ۱۰ پژوهش مزرعه ای مستقل در مناطق مختلف کشور از جمله شهرهای گرگان، کرمان، کرمانشاه، شیراز، اهواز و ساوه انجام شده است، توانایی مدل در شبیه سازی رشد و نمو ذرت دانه ای بررسی و نتایج به دست آمده از ارزیابی ها مشخص کرد که مدل SSM-Maize رشد و نمو و عملکرد دانه رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ را بخوبی شبیه سازی می کند (۴۵).

برای در نظر گرفتن اثرات افزایش دی اکسید کربن تحت شرایط تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد دانه ذرت (ماده خشک دانه) در مدل SSM-Maize، از نسخه اصلاح شده مدل بر اساس روش سلطانی و سینکلر (۲۰۱۲) استفاده شد. در این روش افزایش مقدار دی اکسید کربن در آینده مستقیماً بر روی کارایی مصرف تشعشع (RUE) و ضریب کارایی تعرق (TEC) تاثیر می گذارد به طوری که کارایی مصرف تشعشع و ضریب کارایی تعرق با افزایش غلظت کربن دی اکسید افزایش می یابد (۳۹).

با توجه به اینکه تحقیق حاضر بر روی اثرات تغییر تاریخ کاشت به عنوان راهکار سازگاری در برابر تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش دما بر عملکرد ذرت دانه ای تمرکز دارد، سعی شد که تاریخ کاشت های مختلف در سطح مناطق مورد بررسی در شرایط فعلی و شرایط تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گیرد تا واکنش گیاه ذرت به تغییر اقلیم با کشت در زمان های مختلف بررسی و تحلیل گردد. از این رو، ابتدا تاریخ کشت مرسوم منطقه تعیین شد و سپس تاریخ کشت های دیرتر و زودتر از تاریخ کشت مرسوم منطقه نیز به عنوان تیمارهای پژوهش انتخاب شدند. بنابراین، علاوه بر تاریخ کاشت مرسوم در منطقه که ۱۵ اردیبهشت تعیین شد، کشت در تاریخ های ۱۵ و ۳۰ فروردین به

عنوان تیمارهای کشت زود هنگام و کشت در تاریخ های ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد به عنوان تیمارهای کشت دیر هنگام انتخاب شدند. شبیه سازی های مورد نیاز برای انجام این پژوهش، شامل پنج تیمار تاریخ کاشت، شش منطقه مورد بررسی، یک دوره پایه و دو دوره آینده، دو سناریوی انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) و ۳۰ سال بودند. سایر عوامل مدیریتی برای تمامی شبیه سازی ها در دوره گذشته و آینده ثابت در نظر گرفته شدند.

پیری برگ یکی از مواردی بود که در این پژوهش برای بررسی اثر افزایش دما بر عملکرد ذرت دانه ای مورد توجه قرار گرفت. در ذرت به دلیل شروع پر شدن دانه ها، با شروع رشد دانه هیچ برگ جدیدی تولید نمی شود. در نتیجه در این دوره زوال برگ آغاز می گردد انتقال مجدد از برگ ها منجر به زوال برگ می شود که در نتیجه آن دریافت تشعشع و تولید ماده خشک کاهش می یابد. مدل SSM-Maize که مورد استفاده این تحقیق است، DLAI یا کاهش روزانه LAI را از رابطه زیر برآورد می کند:

$$\text{DLAI} = \text{XNLF} / (\text{SLNG} - \text{SLNS}) \quad \text{معادله ۲}$$

در این فرمول XNLF (بر حسب گرم در متر مربع در روز) سرعت روزانه کاهش نیتروژن برگ ها، SLNS (بر حسب گرم نیتروژن در متر مربع) نیتروژن ویژه برگ در برگ های سبز و SLNG (بر حسب گرم نیتروژن در متر مربع) نیتروژن ویژه برگ در برگ های زرد محاسبه می کند (۴۴). از طرفی چنان چه دمای حداکثر روزانه (TMAX) از مقدار آستانه برای تنش گرمایی (HtLTH) بالاتر باشد، تاثیر دماهای بالا بر پیرشدن سطح برگ در مدل، توسط معادله زیر محاسبه می شود:

$$\text{heatf} = 1 + (\text{TMAX} - \text{HtLTH}) \times \text{HtLDR} \quad \text{معادله ۳}$$

که در آن heatf ضریبی با مقادیر ۱ و بزرگتر از ۱ است که ضرب کردن آن در مقدار پیری محاسبه شده

بر اساس انتقال مجدد نیتروژن یا سن گیاه، آن را افزایش می دهد و HtLDR کسری از سطح برگ است که به ازای هر درجه سانتیگراد افزایش دما در بالاتر از دمای آستانه پیر می شوند (۴۶).

نتایج و بحث

عملکرد دانه: با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها (شکل ۱) عملکرد پتانسیل ذرت دانه ای در شهرستان های مورد مطالعه در استان کرمانشاه در دوره پایه به طور میانگین (تمام شهرستان ها و تاریخ کشت های مورد مطالعه) برابر با ۱۲/۵ تن در هکتار بود که تغییر پذیری قابل ملاحظه ای در بین شهرستان های مختلف داشت. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین میانگین عملکرد دانه ذرت مشاهده شده در بین شهرستان های مورد بررسی به شهرستان های اسلام آباد غرب و کنگاور به ترتیب ۱۳/۹۱ و ۱۳/۸۹ تن در هکتار تعلق داشت؛ در حالی که سرپل ذهاب با میانگین عملکرد ۱۰ تن در هکتار کمترین عملکرد ذرت دانه ای را به طور میانگین در تمام تاریخ کشت ها داشت. واکنش گیاه ذرت به تغییر تاریخ کاشت در دوره پایه نیز در شهرستان های مورد بررسی به شکلی بود که تاخیر در تاریخ کاشت در تمام شهرستان ها به غیر از سرپل ذهاب موجب افزایش در عملکرد ذرت دانه ای در دوره پایه در این مناطق شد. در واقع در این شهرستان ها با تاخیر در کاشت محصول تا ۱۵ خرداد (دیرترین تاریخ کشت ممکن) به طور میانگین عملکرد ذرت دانه ای به میزان ۵/۲ درصد افزایش یافت. این در حالی است که بیشترین عملکرد دانه ذرت در شهرستان سرپل ذهاب (۱۰/۴ تن در هکتار) با کاشت در تاریخ ۱۵ فروردین (زودترین تاریخ کشت مورد بررسی در این مطالعه) به دست آمد و کشت این محصول در تاریخ های بعد از ۱۵ فروردین در شهرستان سرپل ذهاب با کاهش در عملکرد محصول

همراه گردید به صورتی که کشت در تاریخ ۱۵ خرداد موجب افت ۶ درصدی در عملکرد محصول در مقایسه با ۱۵ فروردین شد.

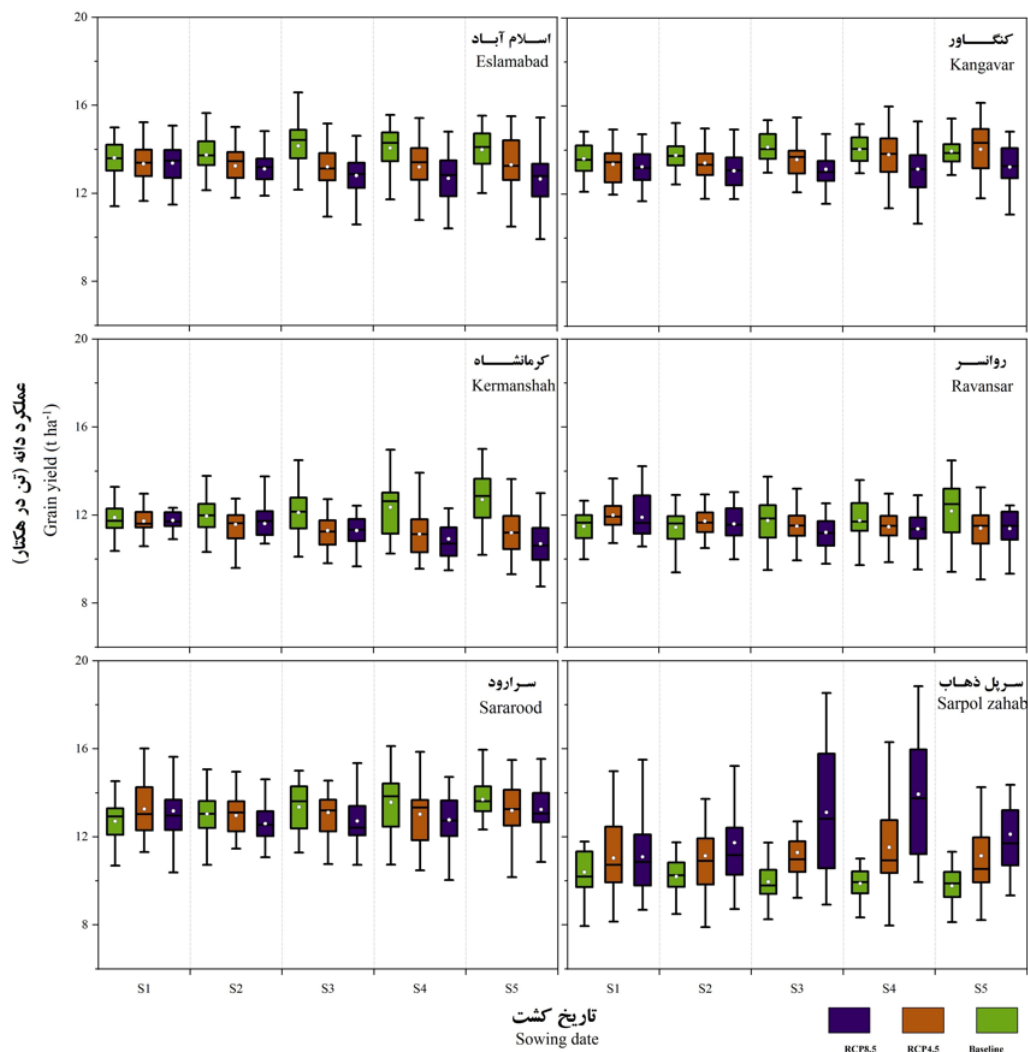
نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دما در دوره آینده و در شرایط تغییر اقلیم، عملکرد ذرت دانه ای در تمام تاریخ کشت ها، سناریوهای اقلیمی و تمام مناطق مورد مطالعه مورد بررسی به غیر از سرپل ذهاب در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت (شکل ۱ و جدول ۳). نتایج نشان داد که به طور میانگین کاهش عملکرد ذرت دانه ای در تمامی تاریخ کشت ها در سناریوی اقلیمی RCP4.5 برابر با ۳/۸- درصد بود در حالی که تحت شرایط سناریوی اقلیمی RCP8.5 عملکرد با افت بیشتری (۶/۵- درصد) در مقایسه با دوره پایه همراه بود. بررسی مقدار عملکرد ذرت دانه ای به تفکیک شهرستان ها نیز نشان داد که شهرستان کرمانشاه در مقایسه با سایر مناطق از تغییر اقلیم ضرر بیشتری را در تولید ذرت تجربه کرد به طوری که میانگین عملکرد به دست آمده در تمامی تاریخ کشت ها در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در این شهرستان به ترتیب برابر با ۱۱/۳ و ۱۱/۱ تن در هکتار بود که در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۷/۳- و ۹/۱- درصد کمتر بود. این در حالی بود که میزان تولید ذرت دانه ای در شهرستان سرپل ذهاب در شرایط تغییر اقلیم در سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۱/۱ و ۱۲/۲ تن در هکتار بود که در مقایسه با دوره پایه به ترتیب به میزان ۱۱ + و ۲۱/۷ + درصد افزایش یافت.

نتایج تغییر تاریخ کاشت در شرایط تغییر اقلیم در سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 نشان می دهد، کشت زودهنگام (اولین تاریخ کاشت مورد بررسی) در مقایسه با تاریخ کاشت مرسوم پایه در مناطقی مانند اسلام آباد، کرمانشاه، روانسر و سرارود که جزو اقلیم سرد هستند به طور میانگین باعث افزایش عملکرد ۲/۶۱

اقلیمی RCP8.5 با کشت زودهنگام (اولین تیمار تاریخ کاشت) بیشترین افزایش عملکرد به میزان ۰/۸۶ درصد در مقایسه با عملکرد تاریخ کاشت مرسوم حاصل شد، در صورتیکه در سناریوی اقلیمی RCP4.5 تاخیر در کاشت (آخرین تیمار تاریخ کاشت) منجر به بیشترین افزایش عملکرد به میزان ۳/۴۹ درصد در مقایسه با عملکرد تاریخ کاشت مرسوم گردید.

و ۴/۵۴ درصد به ترتیب در سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شد، در حالیکه در سرپل ذهاب که جزو اقلیم گرم است تاخیر در زمان کاشت (تیمار ۳۰ اردیبهشت)، به ترتیب باعث افزایش عملکرد ۲/۱۱ و ۶/۲۹ درصد در سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شد.

در شهرستان کنگاور نتایج تغییر تاریخ کاشت در دو سناریوی اقلیمی متفاوت بود بطوریکه در سناریوی



شکل ۱- عملکرد دانه ذرت در تاریخ کاشت‌های مختلف در مناطق مورد مطالعه در شرایط پایه و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 (S1 تا S5 تاریخ‌های کاشت به ترتیب ۱۵ و ۳۰ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد می‌باشد)

Figure 1. Maize grain yield at different planting dates in the study areas under baseline, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios (S1 to S5 are sowing dates corresponding to April 3 and April 18, May 4, May 19, and June 4, respectively)

با توجه به جدول ۳ با افزایش میانگین دمای هوا در شرایط آینده تغییر اقلیم، عملکرد دانه در مناطق اسلام آباد، کنگاور، کرمانشاه، روانسر و سرارود که جزو اقلیم سرد هستند در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت که شدت این کاهش در سناریوی اقلیمی RCP8.5 بیشتر از سناریوی اقلیمی RCP4.5 بود. در مقایسه، در منطقه سرپل ذهاب که اقلیم گرم دارد با افزایش میانگین دمای هوا بر اثر تغییر اقلیم، عملکرد دانه افزایش پیدا کرد.

جدول ۳- شیب خط رگرسیونی و ضریب تبیین بین میانگین دمای هوا (درجه سانتی گراد) و عملکرد دانه (گرم در مترمربع) در مناطق و سناریوهای مورد مطالعه

Table 2- Slope of the linear regression and coefficient of determination (R^2) between average air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and grain yield (grams per square meter) in the studied locations and scenarios

مناطق Locations	Baseline	RCP4.5		RCP8.5		
	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R ²	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R ²	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R ²
اسلام آباد Eslamabad	-4.544	0.004 ^{n.s}	-11.006	0.04*	-18.416	0.13**
کنگاور Kangavar	6.2141	0.01 ^{n.s}	4.5969	0.006 ^{n.s}	-4.4944	0.008 ^{n.s}
کرمانشاه Kermanshah	-6.8759	0.001 ^{n.s}	-18.007	0.16**	-21.623	0.26**
روانسر Ravansar	0.0392	<0.001 ^{n.s}	-14.202	0.14**	-9.2466	0.07**
سرارود Sararood	13.801	0.04*	-5.9646	0.008 ^{n.s}	-0.3912	<0.001 ^{n.s}
سرپل ذهاب Sarpol zahab	-14.797	0.15**	9.7041	0.02 ^{n.s}	36.007	0.13**

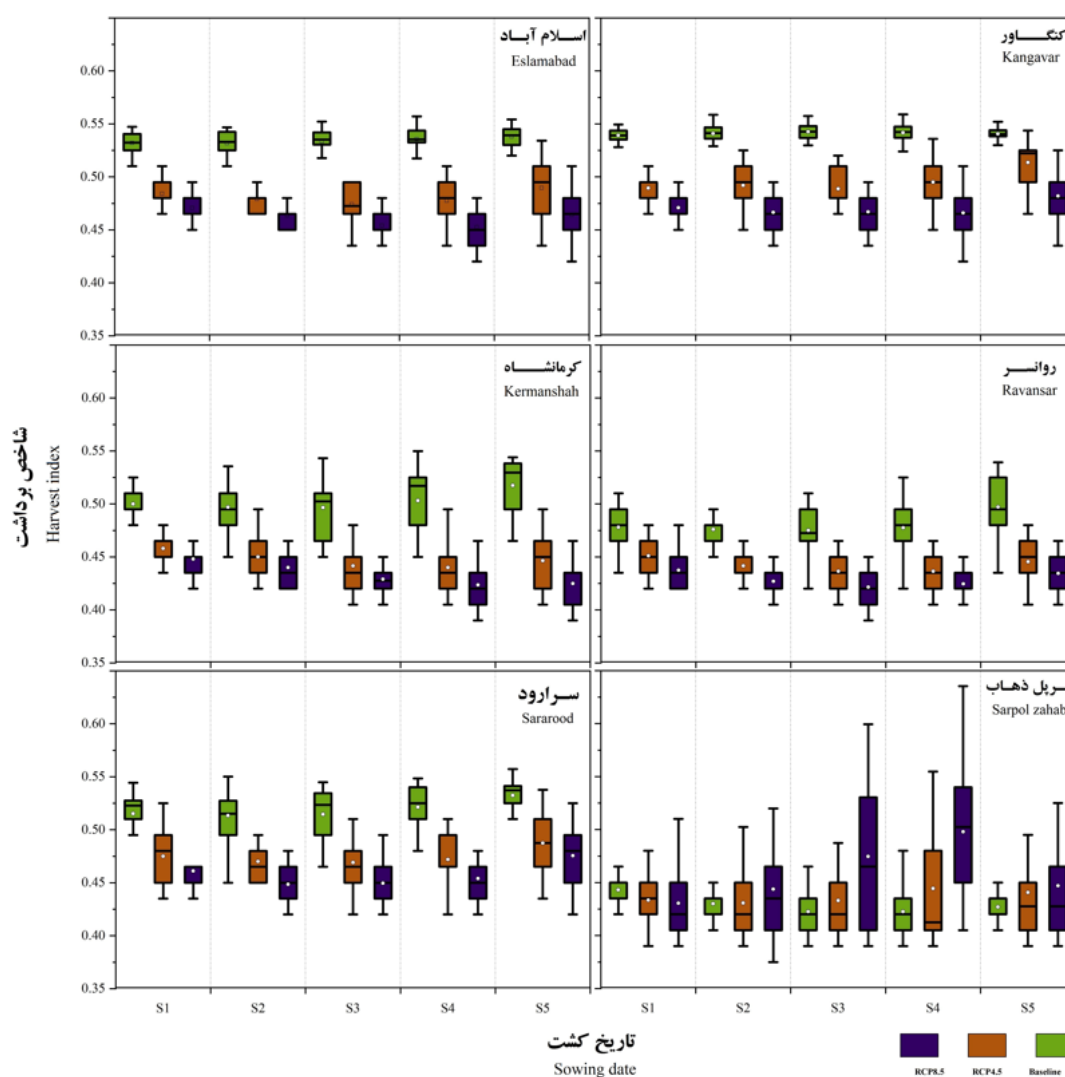
*, ** و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می باشند.

*, ** and ns are significant at a probability level of 5%, 1% and non-significant, respectively

غیر از سرپل ذهاب افزایش شاخص برداشت مشاهده می شود، در صورتیکه در سرپل ذهاب کشت زود هنگام شاخص برداشت بالاتر را نشان می دهد. که با نتایج حاصل مربوط به عملکرد نیز مشابهت دارد، لذا به نظر می رسد تاخیر در کاشت در مناطقی از استان که در محدوده اقلیم سرد می باشند در دوره پایه، احتمال رویارویی مراحل حساس رشدی گیاه زراعی مانند دوره گرده افشانی و گلدهی را با دماهای آسیب رسان کاهش دهد و شرایط بهتری را برای تعادل نسبت رشد رویشی و زایشی به نفع رشد زایشی فراهم آورد و با اختصاص سهم مناسب از مواد فتوسنتزی به اندام های زایشی باعث افزایش شاخص برداشت شده است. در

شاخص برداشت: بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها (شکل ۲) شاخص برداشت ذرت دانه ای در شهرستان های مورد مطالعه در استان کرمانشاه در دوره پایه به طور میانگین (تمام شهرستان ها و تاریخ کشت های مورد مطالعه) برابر با ۵۰/۱٪ بود و بیشترین شاخص برداشت ذرت دانه ای مشاهده شده در بین شهرستان های مورد بررسی به شهرستان های کنگاور و اسلام آباد به ترتیب ۵۴/۱ و ۵۳/۴ درصد تعلق داشت در حالی که کمترین شاخص برداشت مشاهده شده در دوره پایه در بین شهرستان های مورد بررسی (۴۲/۹ درصد) به شهرستان سرپل ذهاب تعلق داشت. با تاخیر در تاریخ کاشت در دوره پایه در تمام مناطق به

صورتیکه در سرپل ذهاب که جزو اقلیم گرم می باشد؛ برداشت بالاتر بدست آمد. این امر در کشت زود هنگام محقق گردیده و شاخص



شکل ۲- شاخص برداشت در تاریخ کاشت های مختلف در مناطق مورد مطالعه در شرایط پایه و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 (S1 تا S5 تاریخ های کاشت به ترتیب ۱۵ و ۳۰ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد می باشد)

Figure 2. Harvest index at different sowing dates in the study areas under baseline, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios (S1 to S5 are sowing dates corresponding to April 3 and April 18, May 4, May19, and June 4, respectively)

با دوره پایه کاهش یافت. به طور میانگین کاهش شاخص برداشت در تمامی تاریخ کشت ها (همه مناطق به غیر از سرپل ذهاب) با افزایش دما در سناریوی اقلیمی RCP4.5 برابر با ۵/۲۵- درصد بود در حالی که تحت شرایط سناریوی اقلیمی RCP8.5 شاخص

نتایج این پژوهش نشان داد که در دوره آینده و در شرایط تغییر اقلیم، شاخص برداشت ذرت دانه ای در شهرستان های مورد مطالعه در استان کرمانشاه در تمام تاریخ کشت ها، سناریوهای اقلیمی و تمام مناطق مورد مطالعه مورد بررسی به غیر از سرپل ذهاب در مقایسه

برداشت با افت بیشتری (۱۲/۶۳- درصد) در مقایسه با دوره پایه همراه بود. این در حالی بود که میزان شاخص برداشت ذرت دانه‌ای در شهرستان سرپل ذهاب در شرایط تغییر اقلیم در سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۴۳/۶ و ۴۵/۸ درصد بود که در مقایسه با دوره پایه به ترتیب به میزان ۱/۶۳ و ۶/۷۵ درصد افزایش یافت.

اثر تاخیر و تعجیل در تاریخ کاشت بر شاخص برداشت در سناریوهای دوره آینده به طور کلی به وضعیت دمایی هر شهرستان بستگی دارد. بطور مثال در شهرستان کنگاور با تاخیر در تاریخ کاشت، در هر دو سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شاخص برداشت افزایش یافت. در شهرستان کرمانشاه تعجیل در تاریخ کاشت، در هر دو سناریوهای اقلیمی شاخص برداشت را افزایش داد.

در شهرستان‌های اسلام آباد، روانسر و سرارود طی یک روند مشابه در هر دو سناریوهای اقلیمی زودترین و دیرترین تاریخ کاشت بیشترین شاخص برداشت مشاهده شد ولی در شهرستان سرپل ذهاب در سناریو اقلیمی RCP4.5 روند افزایشی با میزان اختلاف کم در تاخیر در تاریخ کاشت مشاهده می شود؛ اما در سناریو اقلیمی RCP8.5 روند افزایشی با شدت بیشتری با تاخیر در تاریخ کاشت تا تاریخ ۳۰ اردیبهشت در این شهرستان مشاهده می شود.

طول فصل رشد و عملکرد دانه: بررسی میانگین طول فصل رشد ذرت در شهرستان‌های مورد مطالعه نشان داد که این محصول در دوره پایه به طور متوسط (میانگین تمام تاریخ کشت‌ها و سال‌های شبیه سازی در هر شهرستان) به ۹۵/۶ الی ۱۳۸/۰۵ روز برای رسیدگی و برداشت زمان نیاز دارد (شکل ۳). با وقوع تغییر اقلیم، زمان لازم برای رسیدگی ذرت دانه‌ای در تمام شهرستان‌های مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت که شدت این کاهش در سناریوی

اقلیمی RCP8.5 بیشتر از سناریوی اقلیمی RCP4.5 بود، مقایسه طول فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم با دوره پایه نشان داد که طول فصل رشد به طور میانگین در تمام شهرستان‌های مورد مطالعه به میزان ۱۰/۵ و ۱۳ درصد به ترتیب تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 کاهش یافت. بیشترین کاهش طول فصل رشد در شهرستان کنگاور به میزان ۱۶/۶ و ۲۰/۴ درصد به ترتیب در سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 بود و در مقابل کمترین کاهش در طول فصل رشد در بین مناطق مورد بررسی در سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در شهرستان سرپل ذهاب و به ترتیب به میزان ۲/۸ و ۰/۵ درصد در مقایسه با دوره پایه بود (شکل ۳).

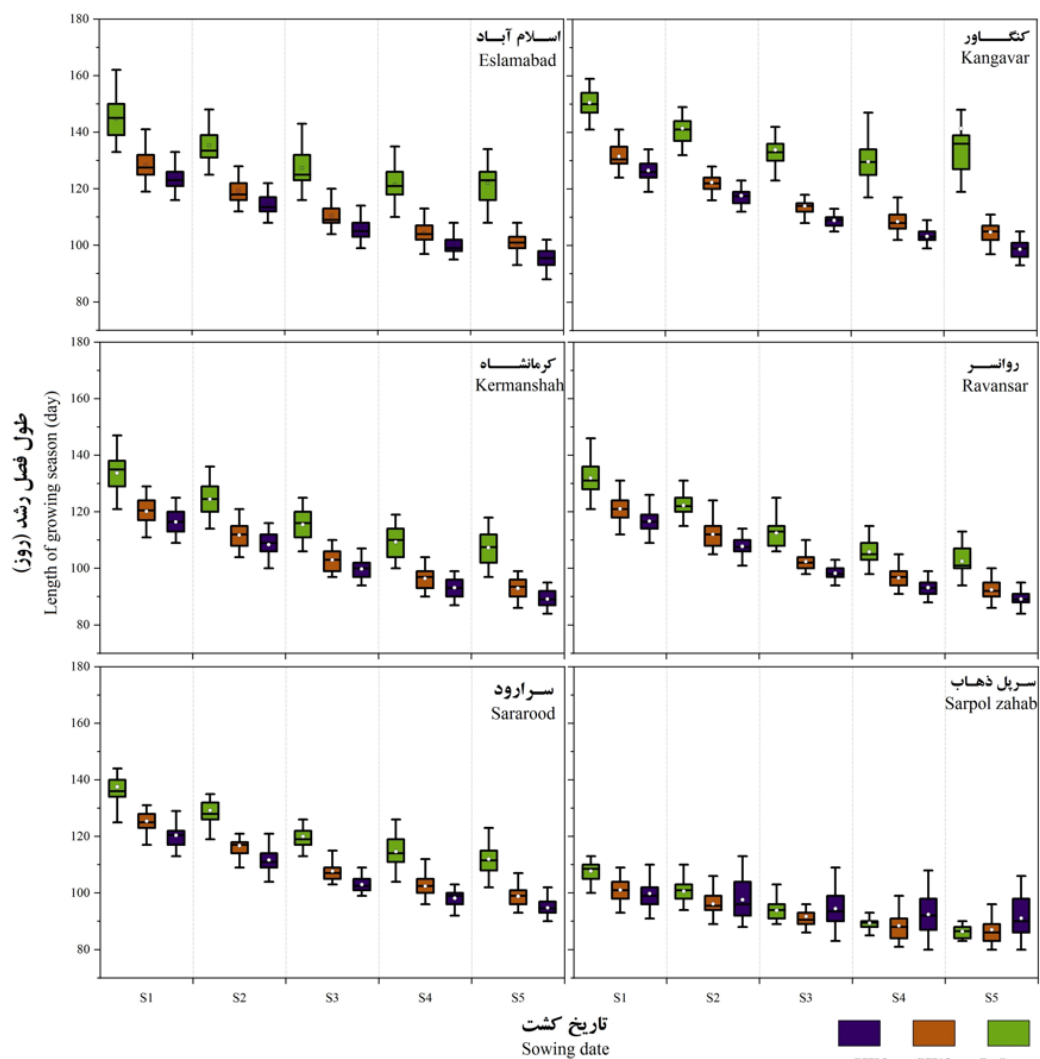
نتایج نشان داد طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین طول فصل رشد گیاه ذرت در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی اقلیمی RCP4.5 به ترتیب برابر با ۱۱۶/۲ و ۹۲/۹ روز بود که به ترتیب به شهرستان‌های کنگاور و سرپل ذهاب تعلق داشت. همچنین بیشترین و کمترین عملکرد دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی اقلیمی RCP4.5 به ترتیب برابر با ۱۳/۶۳ و ۱۱/۲۲ تن در هکتار که به ترتیب به شهرستان‌های کنگاور و سرپل ذهاب تعلق داشت. با توجه به جدول ۱ شهرستانهای کنگاور و سرپل ذهاب به ترتیب خنک ترین و گرم ترین مناطق مورد مطالعه می باشند، لذا نتایج نشان می دهد هر چه دما افزایش می یابد، طول فصل رشد کاهش یافته و در نتیجه عملکرد کاهش پیدا می کند.

بررسی طول فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم و تحت سناریوی اقلیمی RCP8.5 نشان داد که طول فصل رشد در شهرستان کنگاور به طور میانگین با ۱۱۱ روز بلندتر از سایر شهرستان‌ها بود و در مقابل در شهرستان سرپل ذهاب با ۹۵/۱ روز کوتاه تر از سایر شهرستان‌ها بود. همچنین بیشترین و کمترین عملکرد

حدی افزایش و عملکرد کاهش می‌یابد، لذا شهرستان کرمانشاه در مقایسه با سایر مناطق از تغییر اقلیم ضرر بیشتری را برای تولید ذرت دانه‌ای تجربه کرد به طور کلی میانگین عملکرد به دست آمده در تمامی تاریخ کشت‌ها در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در این شهرستان به ترتیب برابر با ۱۱/۴ و ۱۱/۲ تن در هکتار بود که در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۷/۳- و ۹/۱- درصد کمتر بود.

دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی اقلیمی RCP8.5 به ترتیب برابر با ۱۳/۱۵ و ۱۱/۲۵ تن در هکتار که به ترتیب به شهرستان‌های کنگاور و کرمانشاه تعلق داشت.

در توجیه کاهش عملکرد در شهرستان کرمانشاه تحت سناریوی اقلیمی RCP8.5 می‌توان گفت، بیشترین افزایش دمای بیشینه در RCP8.5 بین مناطق مورد مطالعه در کرمانشاه و به میزان ۳/۵۵ درجه سانتی گراد بود، که احتمال برخورد دوره زایشی با دماهای



شکل ۳- طول فصل رشد در تاریخ کاشت، مناطق و سناریوهای مورد مطالعه (S5 تا S1 تاریخ‌های کاشت به ترتیب ۱۵ و ۳۰ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد می باشد)

Figure 3. Length of growing season under sowing dates, locations and scenarios (S1 to S5 are sowing dates corresponding to April 3 and April 18, May 4, May19, and June 4, respectively)

مطابق با جدول ۴ بررسی شیب خط رگرسیونی بین طول فصل رشد و عملکرد دانه در مناطق مورد مطالعه در دوره پایه نشان داد به طور میانگین به ازای هر یک روز افزایش طول فصل رشد، عملکرد دانه ۱/۳۳ گرم در متر مربع افزایش یافت، البته در صورتیکه میانگین مناطق اسلام آباد، کنگاور، کرمانشاه، روانسر و سرارود که جزو اقلیم سرد هستند (جدول ۱) محاسبه شود به ازای هر یک روز افزایش طول فصل رشد، عملکرد دانه ۰/۶۸ گرم در متر مربع افزایش می یابد در حالیکه برای منطقه سرپل ذهاب که اقلیم گرم می باشد به ازای هر یک روز افزایش طول فصل رشد، عملکرد دانه ۴/۵۹ گرم در متر مربع افزایش پیدا می کند، مطالعه شیب خط

رگرسیونی بین طول فصل رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم نشان داد شیب خط رگرسیونی بین طول فصل رشد و عملکرد دانه در تمام شهرستان های مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت که میزان این افزایش در سناریوی اقلیمی RCP8.5 بیشتر از سناریوی اقلیمی RCP4.5 بود. نتایج نشان داد میانگین شیب خط رگرسیونی بین طول فصل رشد و عملکرد دانه ذرت در کلیه مناطق غیر از سرپل ذهاب در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۶۱ گرم در متر مربع بود که این اعداد در سرپل ذهاب به ترتیب ۵۵/۱۱ و ۱۶/۰۴ گرم در متر مربع بود.

جدول ۴- شیب خط رگرسیونی و ضریب تبیین بین طول فصل رشد (روز) و عملکرد دانه (گرم در مترمربع) در مناطق مورد مطالعه در دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم

Table 3. Slope of the linear regression and coefficient of determination (R^2) between the length of the growing season (day) and grain yield (grams per square meter) in the study locations in the base period and climate change scenarios

مناطق Locations	Baseline		RCP4.5		RC8.5	
	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R^2	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R^2	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R^2
اسلام آباد Eslamabad	0.8552	0.001 ^{ns}	2.0542	0.04*	3.5821	0.13**
کنگاور Kangavar	-0.4627	0.005 ^{ns}	-0.3657	0.001 ^{ns}	1.0916	0.02 ^{ns}
کرمانشاه Kermansha h	1.3132	0.02 ^{ns}	3.6639	0.16**	4.6731	0.25**
روانسر Ravansar	0.3622	0.002 ^{ns}	3.0572	0.17**	2.6461	0.12**
سرارود Sararood	1.3367	0.02 ^{ns}	1.4378	0.02 ^{ns}	1.0742	0.008 ^{ns}
سرپل ذهاب Sarpol zahab	4.5935	0.21**	11.551	0.23**	16.04	0.25**

*, ** و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می باشند.

*, ** and ns are significant at a probability level of 5%, 1% and non-significant, respectively

به نظر می‌رسد که با تاخیر در کاشت محصول در مناطق مورد بررسی، میانگین دمای هوا در طول فصل رشد در دوره پایه افزایش می‌یابد که این افزایش میانگین دمای هوا در تاریخ کاشت‌های دیر هنگام منجر به کاهش تعداد روز مورد نیاز برای رسیدگی محصول ذرت می‌شود. مقدار کاهش در روزهای مورد نیاز برای رسیدگی محصول (شیب خط رگرسیون در جدول ۵) به طور کلی به وضعیت دمایی هر شهرستان بستگی دارد. در واقع مقدار کاهش روز تا رسیدگی محصول در مناطق خنک‌تر در مقایسه با سایر مناطق با افزایش میانگین دمای فصل رشد بیشتر بود. برای مثال در شهرستان‌های کنگاور و اسلام‌آباد غرب (شهرستان‌های خنک‌تر) به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای هوا، به ترتیب ۹/۲ و ۸ روز از طول دوره رشد محصول کاسته شد در حالی که در سرپل ذهاب (گرم‌ترین شهرستان در مقایسه با سایر شهرستان‌ها) این مقدار برابر با ۳/۵ روز بود. از این رو به نظر می‌رسد که عملکرد دانه کمتر در شهرستان سرپل ذهاب در دوره پایه در مقایسه با سایر شهرستان‌ها ناشی از طول فصل رشد کوتاه‌تر در این منطقه (۸۳-۱۱۸ روز) در مقایسه با شهرستان‌های خنک‌تر (۱۱۷-۱۶۸ روز) بود.

جدول ۵- شیب خط رگرسیونی و ضریب تبیین بین میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) و طول فصل رشد (روز) در مناطق و سناریوهای مورد مطالعه

Table 4. Slope of the linear regression and coefficient determination (R^2) between average air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and length of growing season (days) in the studied locations and scenarios

مناطق Locations	Baseline		RCP4.5		RC8.5	
	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R^2	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R^2	شیب خط رگرسیون Slope of the regression line	ضریب تبیین R^2
اسلام‌آباد Eslamabad	-8.0137	0.97**	-5.8152	0.97**	-5.276	0.98**
کنگاور Kangavar	-9.1712	0.96**	-6.1746	0.98**	-5.5962	0.98**
کرمانشاه Kermanshah	-6.3415	0.97**	-4.8742	0.98**	-4.4957	0.98**
روانسر Ravansar	-6.0031	0.97**	-4.9705	0.97**	-4.4199	0.95**
سرارود Sararood	-6.8667	0.97**	-5.5941	0.97**	-4.9522	0.95**
سرپل ذهاب Sarpol zahab	-3.5885	0.93**	-1.9172	0.43**	-0.8424	0.08**

*, ** و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی دار می‌باشند.

*, ** and ns are significant at a probability level of 5%, 1% and non-significant, respectively

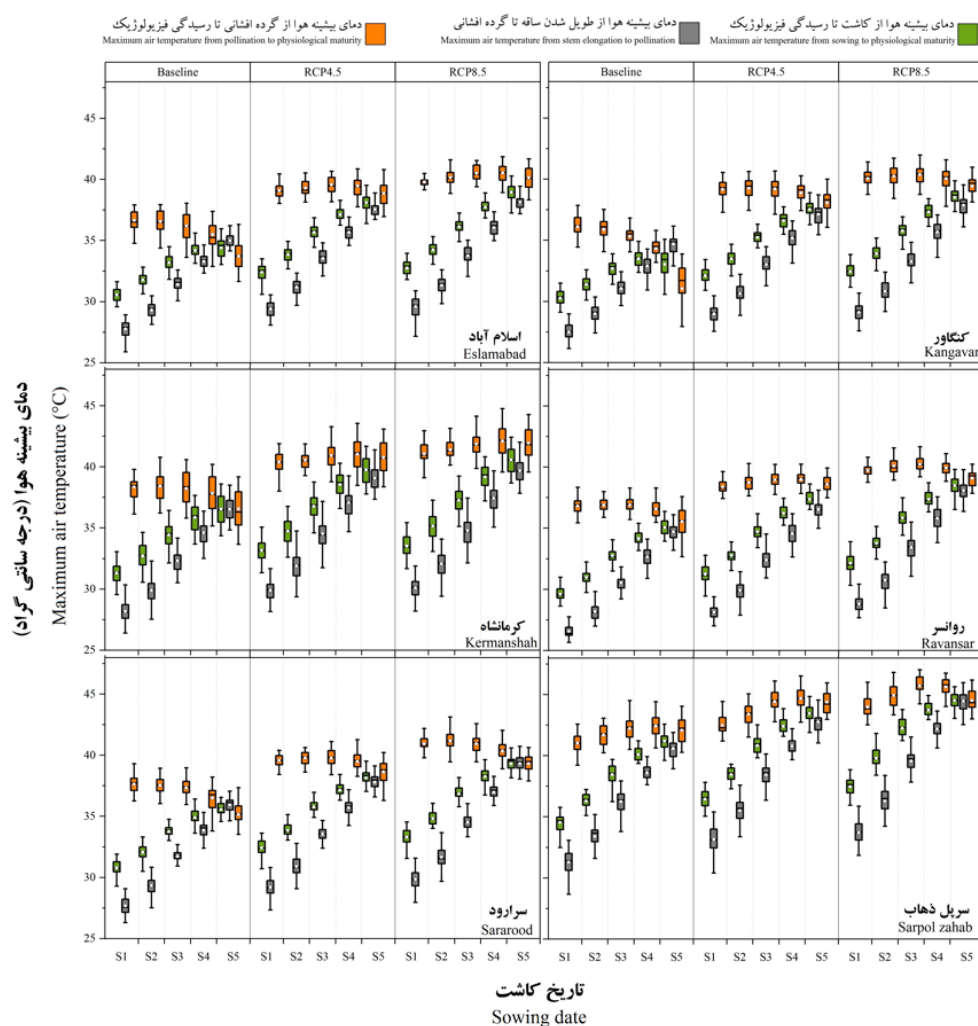
سناریوی اقلیمی RCP8.5 بیشتر از سناریوی اقلیمی RCP4.5 بود. در شهرستان‌های کنگاور و اسلام‌آباد (شهرستان‌های خنک‌تر) به ازای هر یک درجه

با وقوع تغییر اقلیم، زمان لازم برای رسیدگی ذرت دانه‌ای در تمام شهرستان‌های مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت که شدت این کاهش در

حدی در فواصل زمانی کوتاه در مراحل بحرانی رشد گیاه مانند گلدهی می تواند باعث افزایش احتمال ناباروری و کاهش عملکرد گیاه شود (۴۷). لذا به منظور بررسی بیشتر اثر دمای بیشینه هوا و تاریخ کشت های مورد مطالعه شکل ۴ ترسیم گردید در این شکل دمای بیشینه هوا در مراحل مختلف از طویل شدن ساقه تا گرده افشانی، گرده افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیکی و از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی مشاهده می شود.

سناری گراد افزایش میانگین دمای هوا، تحت سناریوی اقلیمی RCP4.5 به ترتیب ۶/۱ و ۵/۸ روز از طول دوره رشد محصول کاسته شد در حالی که در سرپل ذهاب (گرم ترین شهرستان در مقایسه با سایر شهرستان ها) این مقدار برابر با ۱/۹ روز بود، این اعداد تحت شرایط سناریوی اقلیمی RCP8.5 برای کنگاور و اسلام آباد به ترتیب ۵/۶ و ۵/۲ روز بود، در حالی که در سرپل ذهاب این مقدار برابر با ۰/۸ روز بود (جدول ۵).

دمای بیشینه هوا و عملکرد دانه: وقوع دماهای



شکل ۴ - دمای بیشینه هوا (°C) در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت در تاریخ کاشت ، مناطق و سناریوهای مورد مطالعه (S1 تا S5 تاریخ های کاشت به ترتیب ۱۵ فروردین ، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد می باشد)

Figure 4. Maximum air temperature (°C) at different phenological stages of maize under sowing dates, locations and scenarios (S1 to S5 are sowing dates corresponding to April 3 and April 18, May 4, May 19, and June 4, respectively)

نتایج برای دوره پایه نشان داد که شهرستان سرپل ذهاب با بیشترین میانگین بلندمدت دمای بیشینه (۲۸/۲) درجه سانتی‌گراد، اختلاف قابل توجهی در مقایسه با سایر مناطق از نظر دمایی داشت و کمترین عملکرد ذرت دانه‌ای با ۱۰/۰۳ تن در هکتار مربوط به این شهرستان بود، در حالی که کمترین میانگین دمای بیشینه به میزان ۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد مربوط به شهرستان کنگاور بود. سایر مناطق نیز با دمای بیشینه بین ۲۱/۷ الی ۲۳/۲ درجه سانتی‌گراد بین این دو منطقه قرار داشتند. همچنین بیشترین عملکرد دانه ذرت در دوره پایه به‌ترتیب برابر با ۱۳/۹۱ و ۱۳/۸۹ تن در هکتار که به‌ترتیب به شهرستان‌های اسلام آباد و کنگاور تعلق داشت.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود دمای بیشینه هوا در دوره گرده افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک دانه ذرت در دوره پایه در همه مناطق (به غیر از شهرستان سرپل ذهاب) با تاخیر کاشت در حال کاهش می‌باشد و اکثراً عملکرد دانه در گیاه ذرت به تغییر تاریخ کاشت نیز به شکلی بود که تاخیر در تاریخ کاشت که با کاهش دمای بیشینه همراه بود، در تمام شهرستان‌ها (به غیر از شهرستان سرپل ذهاب) موجب افزایش در عملکرد ذرت دانه‌ای در دوره پایه در این مناطق شد. به عنوان مثال در شهرستان کرمانشاه عملکرد دانه در اولین تاریخ کاشت ۱۱/۸۹ تن در هکتار بود که با کاهش دمای بیشینه در مرحله گرده افشانی تا ۴/۶۵- درصد در آخرین تاریخ کشت مورد بررسی، منجر به افزایش در عملکرد محصول تا ۶/۸۶ درصد همراه گردید، این در حالی است که بیشترین عملکرد دانه ذرت (۱۰/۴۱ تن در هکتار) در شهرستان سرپل ذهاب با کاشت در زودترین تاریخ کشت مورد بررسی در این مطالعه به دست آمد و کشت این محصول در تاریخ‌های بعد در شهرستان سرپل ذهاب که با افزایش دمای بیشینه ۲/۵۸ درصد در مرحله گرده

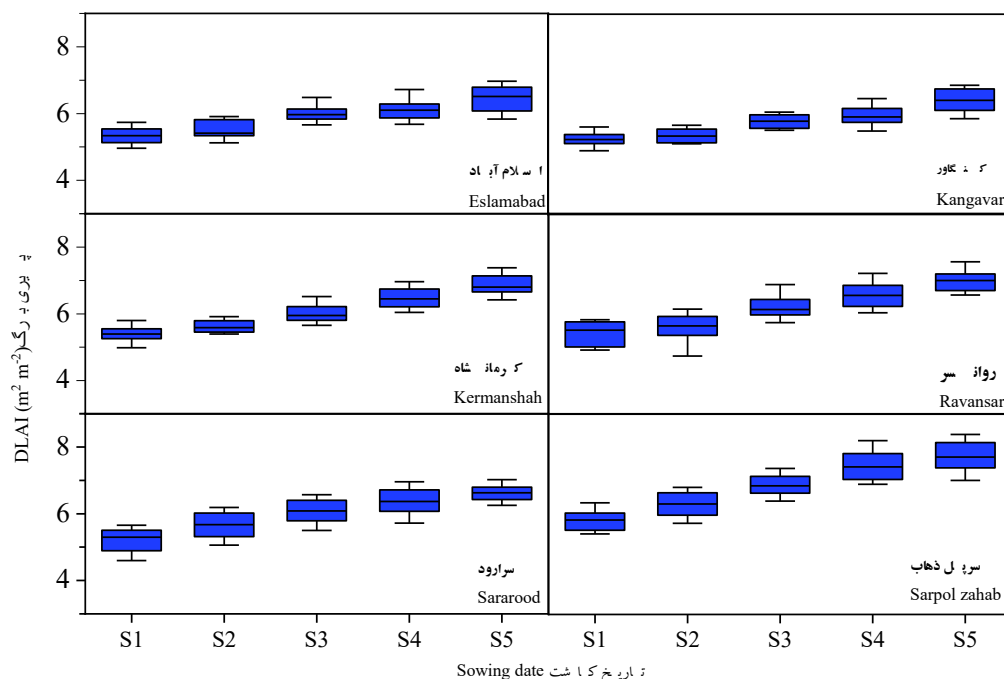
افشانی همراه بود، با کاهش در عملکرد ۵/۹۷- درصد مواجه گردید.

بررسی دمای هوا در شرایط تغییر اقلیم نشان داد بیشترین میانگین دمای بیشینه هوا در RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب با ۳۰/۴ و ۳۱/۴ درجه سانتی‌گراد در شهرستان سرپل ذهاب بود در حالی که کمترین بیشینه دمای هوا در بین مناطق مورد بررسی در RCP4.5 و RCP8.5 در شهرستان روانسر (به ترتیب ۲۳/۸ و ۲۴/۷ درجه سانتی‌گراد) به دست آمد. نتایج به دست آمده از مدل اقلیمی نشان داد که با وقوع پدیده تغییر اقلیم در آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰)، میانگین دمای بیشینه در تمام مناطق در مقایسه با دوره پایه بیشتر می‌گردد که در سناریوی RCP8.5 این افزایش شدیدتر از سناریوی RCP4.5 بود. بطور کلی دمای بیشینه هوا در دوره آینده تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۰/۲ و ۱۴/۱ درصد نسبت به دوره پایه بیشتر شده است.

نتایج به دست آمده از مدل‌های اقلیمی در شکل ۴ نشان می‌دهد که با وقوع پدیده تغییر اقلیم در آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰)، میانگین دمای بیشینه در تمام مناطق و در تمام مراحل رشد گیاه ذرت در مقایسه با دوره پایه افزایشی است که در سناریوی RCP8.5 این افزایش شدیدتر از سناریوی RCP4.5 است.

پیری برگ: در ذرت به دلیل شروع پر شدن دانه‌ها، با شروع رشد دانه هیچ برگ جدیدی تولید نمی‌شود. در نتیجه در این دوره زوال برگ آغاز می‌گردد انتقال مجدد از برگ‌ها منجر به زوال برگ می‌شود که در نتیجه آن دریافت تشعشع و تولید ماده خشک کاهش می‌یابد (۴۴). نتایج شبیه‌سازی‌ها (شکل ۵) نشان داد که سرعت پیری برگ (DLAI) با تاخیر در تاریخ کاشت در دوره پایه افزایش پیدا می‌کند. همچنین شهرستان سرپل ذهاب که جزو اقلیم گرم می‌باشد با شدت بیشتری نسبت به بقیه مناطق که جزو اقلیم

مدیرانه‌ای سرد یا نیمه خشک سرد هستند دچار زوال برگ می‌شود.

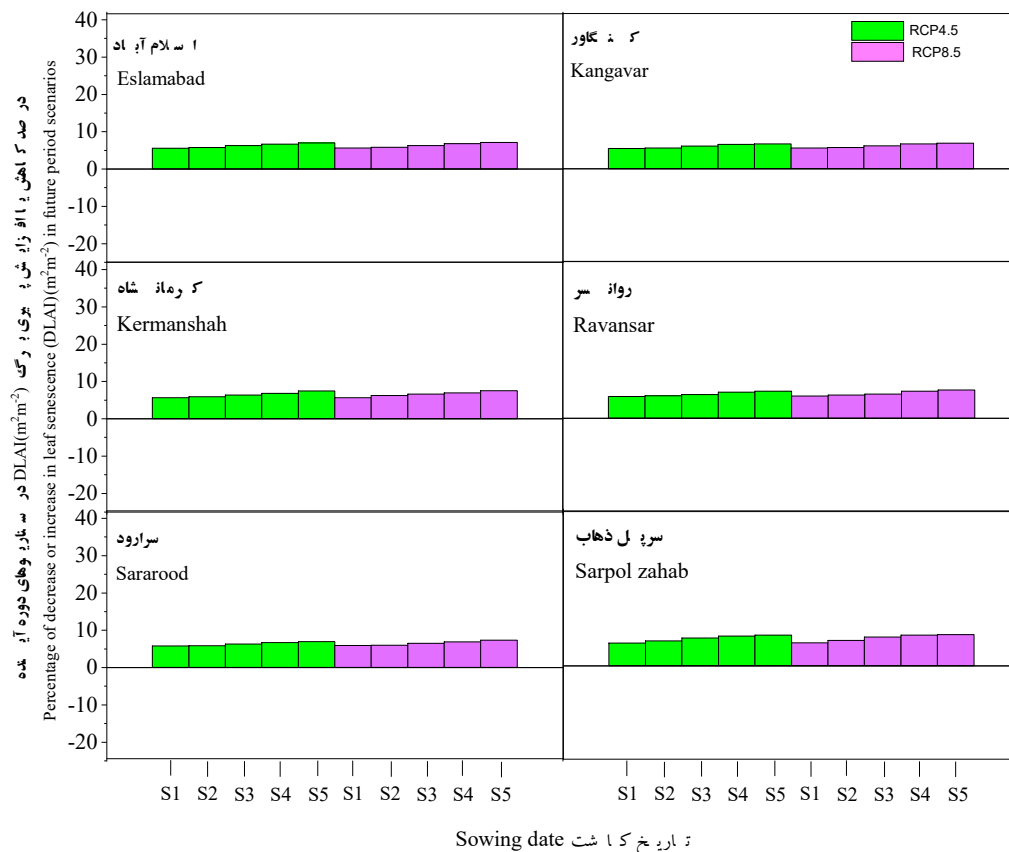


شکل ۵- میزان پیری برگ (DLAI) برگ در تاریخ کاشت‌های مختلف در مناطق مورد مطالعه در شرایط پایه (S1 تا S5 تاریخ‌های کاشت به ترتیب ۱۵ و ۳۰ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد می باشد)

Figure 5. Leaf senescence rate of leaves (DLAI) at different sowing dates in the study locations under baseline conditions (S1 to S5 are sowing dates corresponding to April 3 and April 18, May 4, May 19, and June 4, respectively)

سرعت پیری برگ با کاهش عملکرد بطور میانگین در همه تاریخ کاشت‌ها و همه مناطق در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-3/08$ و $-4/99$ درصد نسبت به دوره پایه مواجه بوده است، اما در شهرستان سرپل ذهاب با اقلیم گرم علی رغم افزایش سرعت پیری برگ نسبت به دوره پایه به میزان $5/87$ و $8/69$ درصد به ترتیب تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5، افزایش عملکرد به میزان $11/81$ و $23/50$ درصد در سناریوهای مذکور مشاهده می‌شود.

با توجه به شکل ۶ در سناریوهای دوره آینده سرعت پیری برگ (DLAI) در همه مناطق در مقایسه با دوره پایه بیشتر می‌گردد و در واقع بطور میانگین در همه تاریخ کاشت‌ها و همه مناطق در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $5/72$ و $8/27$ درصد نسبت به دوره پایه افزایش سرعت پیری برگ مشاهده می‌شود. اما در بررسی ارتباط عملکرد و سرعت پیری برگ نتایج نشان داد در همه مناطق با اقلیم سرد شامل اسلام آباد غرب، روانسر، کرمانشاه، سرارود و کنگاور این افزایش



شکل ۶- درصد کاهش یا افزایش پیری برگ (DLAI) در سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 نسبت به دوره پایه در تاریخ کاشت‌ها و مناطق مورد مطالعه (S1 تا S5 تاریخ‌های کاشت به ترتیب ۱۵ و ۳۰ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد می‌باشد)

Figure 6. Decrease or increase in leaf senescence (DLAI, %) in RCP4.5 and RCP8.5 scenarios compared to the baseline period under sowing dates and study locations (S1 to S5 are sowing dates corresponding to April 3 and April 18, May 4, May 19, and June 4, respectively)

محدودیت‌های این تحقیق: در این تحقیق، تمامی شبیه‌سازی‌ها در شرایط پتانسیل شامل عدم محدودیت آب، نیتروژن، آفات، بیماری و علف هرز انجام گرفت، لذا تاثیر تنش‌های آبی و استفاده از بارش‌های بهاره در ابتدای فصل رشد بررسی نشده است. بنابراین توصیه می‌گردد که مطالعات تغییر اقلیم در سطح آب محدود نیز مورد پژوهش قرار گرفته تا جنبه‌های مختلف این پدیده بر تولید ذرت دانه‌ای در مناطق مورد بررسی به خوبی شناسایی گردد. محدودیت دوم اینکه تنها از مدل اقلیمی HadGEM2-ES که یکی از مدل‌های گردش عمومی جو است، استفاده شده است، لذا

بررسی پیری برگ در سناریوهای دوره آینده (شکل ۶) بیانگر افزایش سرعت پیری برگ بر اثر افزایش دما در هر دو سناریو مورد مطالعه می‌باشد، همچنین شکل ۶ نشان می‌دهد در سناریوهای دوره آینده با تاخیر در تاریخ کاشت نیز سرعت پیری برگ افزایش می‌یابد، با توجه به اینکه در سناریوهای دوره آینده در مناطق با اقلیم سرد، تاخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای شد، لذا می‌توان نتیجه گرفت افزایش سرعت پیری برگ به عنوان اندام فتوسنتز کننده در کشت دیر هنگام بر کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای موثر است.

بکارگیری مدل‌های دیگر GCM باعث کاهش عدم قطعیت پیش بینی اقلیم مناطق مورد مطالعه می‌گردد.

با دوره پایه بود، که کم‌ترین کاهش طول فصل رشد در بین مناطق مورد بررسی بود.

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج در هر شش منطقه مورد بررسی، احتمال افزایش دما قطعی است به طوری که متوسط میانگین دمای هوا در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 دوره آینده به ترتیب ۱۳/۹۴ و ۱۹/۶۶ درصد دما افزایش یافت (نسبت به دوره پایه با میانگین دمای ۱۵/۲۲ درجه سانتی‌گراد). این افزایش دما، اثر متفاوت بر عملکرد ذرت دانه‌ای در آینده بر مبنای اقلیم مناطق مورد بررسی داشت؛ بطوریکه مناطق اسلام آباد، کنگاور، کرمانشاه، روانسر و سرارود که جزو اقلیم مدیترانه‌ای سرد یا نیمه خشک سرد هستند، طول فصل رشد بطور میانگین به میزان ۱۱/۹ و ۱۵/۴ درصد در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت که منجر به کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای به ترتیب ۳/۸- و ۶/۵- درصد در سناریوهای فوق شد، در حالی که عملکرد ذرت دانه‌ای در شهرستان سرپل ذهاب (اقلیم نیمه خشک گرم) در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه به ترتیب به میزان ۱۱+ و ۲۱/۷+ درصد افزایش یافت و کاهش طول فصل رشد در سناریوهای اقلیمی مذکور به ترتیب به میزان ۲/۸ و ۰/۵ درصد در مقایسه

بررسی تاریخ‌های مختلف کشت ذرت (از ۱۵ فروردین تا ۱۵ خرداد) در شرایط تغییر اقلیم با هدف تغییر در تاریخ کشت محصول و دستیابی به تاریخ کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم نشان داد که این راهکار می‌تواند با کمک به افزایش زمان حضور گیاه زراعی در مزرعه به بهبود تولید ذرت دانه‌ای در آینده کمک کند. علاوه بر این، کشاورز می‌تواند با تغییر تاریخ کشت، احتمال رویارویی مراحل حساس رشدی گیاه زراعی مانند دوره گرده‌افشانی و گلدهی را با دماهای آسیب رسان برای ذرت (دمای بیشینه بیشتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد) کاهش دهد و تا حدی از اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید ذرت دانه‌ای بکاهد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که در شهرستان سرپل ذهاب که گرم‌ترین شهرستان مورد مطالعه بود، ذرت دانه‌ای با تاخیر در کاشت می‌تواند به عملکرد بالاتری دست پیدا کند. در مقابل، تعجیل در کاشت محصول در تاریخ ۱۵ فروردین (به عنوان اولین فرصت ممکن بعد از فصل زمستان) در سایر شهرستان‌های مورد بررسی که جزو اقلیم سرد هستند می‌تواند به عنوان یک راهکار موثر برای بهبود تولید ذرت دانه‌ای در این مناطق قابل توصیه باشد.

References

1. Farooq, M.S., Uzair, M., Raza, A., Habib, M., Xu, Y., Yousuf, M., Yang, S.H., & Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the research gaps to alleviate the negative impacts of climate change on food security: A Review. *Frontiers of plant science*, 13, 927535. doi: 10.3389/fpls.2022.927535.
2. Rivero, R.M., Mittler, R., Blumwald, E. & Zandalinas, S.I. (2022). Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*, 109(2), 373–389.
3. IPCC, (2007). The Physical Science Basis: Summary for Policymakers http://www.ipcc.ch/wg1_spm17apr07.pdf
4. Tebaldi, C., & Lobell, D. (2018). Estimated Impacts of Emission Reductions on Wheat and Maize Crops. *Climatic Change*, 146, 533-545. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1537-5>
5. Hussain, H.A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., Zhang, K., Li, Y., Xu, Q., & Liao, C., (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological

- attributes, yield, nutrient uptake, and oxidative status in maize hybrids. *Scientific reports*, 9, 3890.
6. Neiff, N., Trachsel, S., Valentinuz, O.R., Balbi, C.N., & Andrade, F.H. (2016). High temperatures around flowering in maize: Effects on photosynthesis and grain yield in three genotypes. *Crop Science*, 56, 2702–2712.
 7. Edreira, J.R., Carpici, E.B., Sammarro, D., & Otegui, M. (2011). Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate and tropical maize hybrids. *Field Crops Research*, 123, 62–73.
 8. Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84.
 9. Tian, B., Zhu, J., Nie, Y., Xu, C., Meng, Q., & Wang, P. (2019). Mitigating heat and chilling stress by adjusting the sowing date of maize in the North China Plain. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 205(1), 77-87.
 10. Muchow, R.C., Sinclair, T.R. & Bennett, J.M. (1990). Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal*, 82, 338-343.
 11. Schoper, J., Lambert R., & Vasilas, B. (1987). Pollen viability, pollen shedding, and combining ability for tassel heat tolerance in maize. *Crop Science*, 27, 27–31.
 12. Rosenzweig, C., & Tubiello, F.N. (2007). Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 855-873.
 13. Trnka, M., Dubrovski, M., Semerádová, D., & Zalud, Z. (2004). Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. *Theoretical and Applied Climatology*, 77, 229–249.
 14. Smit, B., & Skinner, M. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7, 85-114.
 15. Tubiello, F.N., Donatelli, M., Rosenzweig, C., & Stoćkle, C.O. (2000). Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy*, 13, 179-189.
 16. Niggol Seo, S., & Mendelsohn, R. (2008). An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. *Ecological Economy*, 67, 109-116.
 17. Gibbons, J.M., & Ramsden, S.J. (2008). Integrated modelling of farm adaptation to climate change in East Anglia, UK: Scaling and farmer decision making. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 127, 126-134.
 18. Meza, F., Silva, D., & Vigil, H. (2008). Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*, 98, 21-30.
 19. Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., & Wang, E. (2009). Adaptation to climate change of wheat growing in South Australian: Analysis of management and breeding strategies. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 129, 261- 267.
 20. Byjesh, K., Kumar, S.N., & Aggarwal, P.K. (2010). Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India. *Mitigation Adaptation Strategies Global Change*, 15, 413-431.
 21. Ludwig, F., & Asseng, S. (2006). Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural Systems*, 90, 159-179.
 22. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2018). Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: a model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253, 1-14.
 23. Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Mansoori, H. (2013). Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: Irrigation and planting data management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 265- 284.
 24. Abraha, M., & Savage, M. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal. South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115, 150-160.

25. Agricultural Jihad Organization. (1402). Agricultural Statistics for the Agricultural Year 1401. Volume 1: Crops. Deputy of Statistics, Center for Statistics, Information Technology and Communications. P. 95. [In Persian].
26. Prescott, J.A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 6, 114-118.
27. Koo, J., & Dimes, J. (2013). HC27 generic soil profile database. Harvard Dataverse Ver. 4. Washington, DC: *International Food Policy Research Institute*.
28. Nehbandani, A., Soltani, A., Taghdisi, R., Dadrasi, A., & Alimagham, S. M. (2020). Assessing HC27 Soil Database for Modeling Plant Production. *International Journal of Plant Production*, 14, 679-687.
29. Ghahreman, N., Tabatabaei, M., & Babaeian, I. (2015). Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projection over Iran under RCP Scenarios. Poster on Cop21-Cmp11, Paris.
30. Lotfi, M., Kamali G. A., Meshkatee, A., & Varshavian, V. (2020). Statistical downscaling of climate models projection of minimum temperature under RCP scenarios in Western of Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(2), 3-13. DOI: 10.22125/agmj.2020.227415.1097. (In Persian)
31. Mousavi Baygi, M., Shiyukhy Soqanloo, S., Torabi, B., & Raeini, M. (1402). Simulation of phonological stages of irrigated wheat cultivar Mehregan under drought stress in climate change conditions. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*. 33(1), 33-17. [In Persian].
32. AgMIP, (2013a). Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with Rin Windows. AgMIP, Available at: <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>.
33. AgMIP, (2013b). The Coordinated Climate-Crop Modeling Project C3MP: An Initiative of the Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project. C3MP Protocols and Procedures. AgMIP, Available at: <http://research.agmip.org/download/attachments/1998899/C3MP+Protocols+v2.pdf>.
34. Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., & Masui, T. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109, 5-31.
35. Kouchaki, Alireza, & Nasiri Mahallati, Mehdi. (2008). The impact of climate change accompanied by increasing CO2 concentration on wheat yield in Iran and evaluation of adaptation strategies. *Iranian Agricultural Research*, 6(1), 139-154. doi: 10.22067/gsc.v6i1.1185.
36. Jones, P.G., & Thornton, P.K. (2003). The Potential Impacts of Climate Change on Maize Production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*. 13, 51-59.
37. Soltani, A. (2009). Mathematical modeling in field crops. JDM Press, Mashhad, Iran. 175. [In Persian].
38. Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O., & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, 32, 91-102.
39. Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2012). Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *European Journal of Agronomy*. 38, 22-31.
40. Soltani, A., Nehbandani, A., Zeinali, E., Torabi, B., Zand, E., Ghasemi, S., Alasti, O., Dadrasi, A., Hoseini, R., Alimagham, S.M., Zahed, M., Fayazi, H., Kamari, H., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Pourshirazi, Sh., Mohammadi, S., Keramat, S. (2018). Gap yield atlas and production capacity of important crops in the country level in current and future climatic conditions. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Research Report. 130 pages. [In Persian].
41. Soltani, A. & Sinclair, T.R. (2011). A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research*, 124(2), 252-260. doi:10.1016/j.fcr.2011.06.021.

42. Soltani, A., Maddah, V., & Sinclair, T. (2013). SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 711-740.
43. Manschadi, A.M., Eitzinger, J., Breisch, M., Fuchs, W., Neubauer, T., Soltani, A. (2021). Full Parameterisation Matters for the Best Performance of Crop Models: Inter-comparison of a Simple and a Detailed Maize Model. *International Journal of Plant Production*, 15, 61-78.
44. Zeinali, A. (2005). Blue parametric SSM model for simulating corn growth and yield in Gorgan. Research project. University of Gorgan. P. 91. [In Persian].
45. Bayatian, N. (2023). Identifying suitable plant traits for increasing grain corn yield using the SSM-iCrop model. PhD thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences, Department of Agronomy. [In Persian].
46. Semenov, M.A., Stratonovitch, P. (2015). Adapting wheat ideotypes for climate change: accounting for uncertainties in CMIP5 climate projections. *Climate research*, 65, 123–139.
47. McKeown, A., Warland, J., & McDonald, M.R., (2005). Long-term marketable yields of horticultural crops in southern Ontario in relation to seasonal climate. *Canadian Journal of Plant Science*, 85, 431–438.