Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Evaluation of corn plant adaptation strategies in Iran's future climatic conditions using SSM-iCrop2 model

Fahimeh Alizadeh[1], Faezeh Zaefarian[2*], Benjamin Torabi[3] Majid Alimagham[4]

1 Ph.D Student, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: falizadeh1119@gmail.com
2 Corresponding Author, Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: fa_zaefarian@yahoo.com
3 Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: ben_torabi@yahoo.com
4 Ph.D Graduated Student, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: m.alimagham@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-5-31
Accepted: 2024-1-19

Keywords:
Planting date
RCP
Ripening
Temperature
Yield

ABSTRACT

Background and objectives: Considering the increase in population and the establishment of food security and the cultivation of crops facing agricultural challenges with the problem of climate change; the present study was conducted to simulate the effects of climate change on the corn plant and to provide adaptation solutions for this plant to deal with the effects of climate change.

Materials and methods: In the present study, used SSM-iCrop2 model in two periods (2025) 2010-2039 and (2055) 2069-2040 and under two release scenarios $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ in 23 meteorological stations of the country. Considering the increase in temperature and CO_2 in the future, to improve the yield of corn, there are three strategies to adapt is considered, the change in the planting date, processing and combining the two strategies of late maturity and accelerating the planting, which increase the yield.

Results: The results showed that the use of the late arrival strategy in both periods and the strategy of accelerating planting in the middle period (2055) and also the combination of these two strategies have increased the yield of the corn plant; this increase in 10% lateness with 20 days acceleration in planting was shown more strongly than other strategies.

Conclusion: In general, it can be recommended that in order to deal with the effects of climate change in the corn plant, this plant should be of late type and should be planted 20 days earlier than the common planting date; so that the sensitive stages of growth such as flowering, pod filling and maturity are not faced with environmental stresses to have the best performance.

Cite this article: Alizadeh, F., Zaefarian, F., Torabi, B., Alimagham, M. 2024. Evaluation of corn plant adaptation strategies in Iran's future climatic conditions using SSM-iCrop2 model. *Crop Production Journal*, 17 (2), 17-30.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.21386.2580
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸

ارزیابی راهکارهای سازگار شدن گیاه ذرت در شرایط اقلیم آینده ایران با استفاده از مدل SSM-iCrop2

فهیمه علیزاده[۱]، فائزه زعفریان[۲*]، بنیامین ترابی[۳]، مجید عالیمقام[۴]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، رایانامه: falizadeh1119@gmail.com
[۲] دانشیار، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ایران، رایانامه: fa_zaefarian@yahoo.com
[۳] دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: ben_torabi@yahoo.com
[۴] دانش‌آموخته دکتری گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: m.alimagham@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

واژه‌های کلیدی:
تاریخ کشت
دما
رسیدگی
عملکرد
Representative Concentration Pathway (RCP)

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به افزایش جمعیت و ایجاد امنیت غذایی و مواجه شدن کشت و کار گیاهان زراعی با معضل تغییر اقلیم؛ مطالعه حاضر برای شبیه‌سازی اثرات تغییرات اقلیم بر گیاه ذرت و ارائه راهکارهای سازگاری این گیاه برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر، از مدل SSM-iCrop2 در دو دوره (۲۰۲۵) ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و (۲۰۵۵) ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و تحت دو سناریو انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ در ۲۳ ایستگاه هواشناسی کشور استفاده شد. با توجه به افزایش میزان دما و غلظت CO_2 در آینده برای بهبود عملکرد ذرت سه راهکار سازگار شدن تغییر در تاریخ کشت، رسیدگی و ترکیب دو راهکار دیررسی و تسریع در کاشت که سبب افزایش عملکرد می‌شوند؛ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد استفاده از راهکار دیررسی در هر دو دوره و راهکار تسریع در کاشت در دوره میانه (۲۰۵۵) و همچنین ترکیب این دو راهکار سبب افزایش عملکرد در گیاه ذرت گشته است؛ که این افزایش در ۱۰ درصد دیررسی با ۲۰ روز تسریع در کاشت نسبت به راهکارهای دیگر با شدت بیشتری نشان داده شد.

نتیجه‌گیری: بطورکلی می‌توان توصیه کرد که برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم در گیاه ذرت این گیاه باید از نوع دیررس باشد و ۲۰ روز زودتر از تاریخ کاشت رایج کشت شود؛ تا مراحل حساس رشد مانند گلدهی، پرشدن غلاف و رسیدگی با تنش‌های محیطی مواجه نشود و بهترین عملکرد حاصل شود.

استناد: علیزاده، فهیمه؛ زعفریان، فائزه؛ ترابی، بنیامین؛ عالیمقام، مجید. (۱۴۰۳). ارزیابی راهکارهای سازگار شدن گیاه ذرت در شرایط اقلیم آینده ایران با استفاده از مدل SSM-iCrop2. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷ (۲)، ۳۰-۱۷.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21386.2580
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

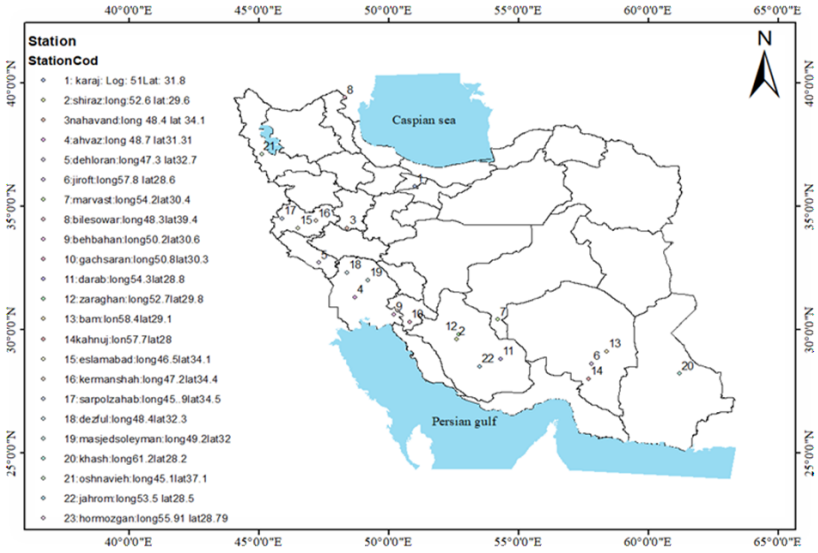
مقدمه

تغییر اقلیم یا همان تغییرات آب‌وهوایی در بلند مدت یکی از مهم‌ترین تهدیدهای عمده و حیاتی است که امروزه بشر با آن مواجه می‌باشد و عملکرد بسیاری از گیاهان از جمله ذرت (*Zea mays* L.)؛ را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (۱). ذرت از نظر تولید جهانی بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) مقام سوم را به خود اختصاص داده است (۲)؛ و با توجه به روند تغییرات اقلیمی اخیر و گرم شدن هوا به‌نظر می‌رسد کشت و کار این گیاه به‌عنوان یک گونه با مسیر فتوسنتزی C_4 اهمیت بیشتری پیدا کرده است (۳). در حال حاضر ایران با اقلیمی خشک و خشک‌سالی‌های متوالی و روند افزایشی دما نیازمند انتخاب راهبردهای سازگاری است تا بتواند تحمل گیاه را در مقابل افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم را افزایش دهد (٤)؛ به همین منظور محققان اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی را در شرایط اقلیمی آینده و سال ۲۰۵۰، با استفاده از مدل گردش عمومی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند افزایش دما بیشترین سهم را در کاهش عملکرد محصولات زراعی مانند گندم، ذرت، چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) و نخود (*Pisum sativum* L.) دارد. اما چنانچه افزایش دمای فصل رشد ذرت بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد باشد؛ حتی با ۳۰ روز تأخیر در کاشت نیز کاهش عملکرد تا حدود ۱۰ درصد یا بیشتر اجتناب‌ناپذیر است (۵). البته استفاده از واریته‌های اصلاح شده و ترکیب مناسب ژنوتیپ و تاریخ کاشت در گیاهان زراعی یک استراتژی مهم برای انطباق و سازگاری با پیامدهای منفی تغییر اقلیم است (٦). برخی از نتایج نیز مؤید آن می‌باشد و بیان می‌کند که پذیرش ارقام جدید ذرت به عنوان راهکار سازگار شدن سبب افزایش ۳/۷ درصدی عملکرد این گیاه و کاهش آثار مخرب تغییر اقلیم بر عملکرد این گیاه شده است (۷). بر اساس نتایج در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت، دو استراتژی سازگاری برای جبران کاهش عملکرد پیشنهاد شد که یکی از این راه‌کارها پذیرش ارقام جدید بود که سبب افزایش عملکرد به میزان ۵۰ تا ٦۱ درصد خواهد شد و راه‌کار بعدی نیز تنظیم تاریخ کشت می‌باشد که سبب بهبود عملکرد ذرت به میزان ۲۵-۲۰ درصد خواهد شد (۸). تحقیقات نشان داد پذیرش ارقام دیررس با دوره رشد طولانی‌تر به عنوان راهکار سازگار شدن در سه دهه گذشته به طور قابل توجهی به افزایش عملکرد کمک کرده است (۹). در بررسی‌هایی که در منطقه گوانزونگ چین بر روی گیاه ذرت انجام شد مشاهده شد، عملکرد گیاه ذرت در سناریوی $RCP_{8.5}$ که شامل بیشترین میزان دما و CO_2 بوده؛ روند کاهشی از خود نشان داده بود. هم‌چنین تغییر تاریخ کشت که به عنوان راهکار سازگار شدن پیشنهاد شده بود؛ افزایش ۱۲ درصدی عملکرد ذرت را همراه داشت (۱). در آزمایشی عملکرد برنج تحت تاثیر تغییرات اقلیمی در سه منطقه کشور پاکستان انجام مورد بررسی قرار گرفت؛ نشان داده شد افزایش دما، سبب کاهش ۷/۳ درصدی عملکرد برنج می‌شود و برای راهکار سازگار شدن آن افزایش تراکم، افزایش میزان کودهای نیتروژن و جلو انداختن تاریخ کشت پیشنهاد می‌شود (۱۰). یافته‌های دیگر نیز نشان داد تاریخ کاشت زودتر و آبیاری کمتر در مرحله گرده‌افشانی سبب افزایش عملکرد می‌شود (۱۱). بررسی تغییر اقلیم بر روی برنج در سال ۲۰۵۰ تغییر الگوی بارندگی، افزایش دما و تشدید تابش خورشیدی نشان داد عملکرد برنج در هر سه فصل رشد تحت سناریو $RCP_{8.5}$ به میزان ۱۱ درصد کاهش پیدا کرد؛ که راهکارهای تغییر تاریخ کشت، نوسازی سیستم‌های آبیاری و مدیریت یک‌پارچه مواد مغذی ارائه شد (۱۲). در تحقیقی که در سال ۲۰۲۱ به منظور

مقابله با تغییرات اقلیمی آینده در سه منطقه دامنه، مرتفع و میانه کشور اتیوپی انجام شد؛ افزایش دما و کاهش بارندگی در آینده مشاهده شد و راه‌کارهای مختلف سازگاری تنوع رقم، تغییر تاریخ کاشت و تغییر نوع محصول مورد بررسی قرار گرفت؛ که انطباق تاریخ کشت با بارندگی بهترین و مناسب‌ترین استراتژی تعیین شد (۱۳). در مطالعه‌ای دیگر که تغییرات الگوهای کشت و تناسب آب و هوا روی ذرت بهاره در ۵۰ ایستگاه هواشناسی مغولستان از سال ۱۹۵۹ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت؛ نشان داده شد در قسمت میانی کشور، ذرت متوسط رس باید جایگزین ذرت زودرس شود (۱٤). بررسی‌های دیگر بر روی گندم نیز بیان‌گر کاهش عملکرد این گیاه در اثر افزایش دما بود؛ که با بکاربستن راه‌کار ترکیبی سازگاری جلو انداختن تاریخ کشت به مدت ۱۰ روز و استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد خواهد شد (۱۵). از طرفی جلو انداختن تاریخ کشت برای ذرت بدلیل حساس بودن این گیاه در مراحل اولیه رشد به سرما و افزایش خطر سرمازدگی گیاهچه مناسب نیست و قرار گرفتن ذرت در مرحله ۳ برگی در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد یا کمتر باعث می‌شود که حتی اگر در مراحل بعدی رشد در دمای بهینه قرار گیرد؛ کاهش رشد قابل جبران نباشد. بنابراین کاشت دیرتر ذرت به طوری که پرشدن دانه در هوای خنک‌تر تکمیل شود در کنار افزایش مقاومت به گرما راهکار قابل قبولی برای مقابله با تغییر اقلیم محسوب می‌شود (۱٦). در مجموع با توجه به مطالب فوق، پدیده تغییر اقلیم در آینده می‌تواند خطرهای جدی برای کشاورزان در پی داشته باشد و بر اساس اهمیت این محصول و نقش آن در تأمین علوفه و مصارف انسانی و صنعتی کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و ثبات تولید، ارائه استراتژی‌های افزایش سازگاری به شرایط تغییر اقلیم در ایران بسیار ضروری به نظر می‌رسد (۱۷).

مواد و روش‌ها

اطلاعات ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و سال تأسیس آن‌ها از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شد. سپس آمار هواشناسی دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) شامل مقادیر روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه و بارندگی برای ایستگاه‌های مورد نظر از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. اساس مدل‌های گردش عمومی میانگین ماهانه دما و بارش را بر حسب میزان تغییر نسبت به شرایط فعلی و تابش خورشیدی بر حسب درصد تغییر نسبت به شرایط فعلی تعیین شد. متوسط دمای روزانه (T_{mean} °C) از میانگین دمای کمینه و بیشینه روزانه به دست آورده شد و مقادیر تشعشع روزانه (srad, mj m^{-2} d^{-1}) نیز با استفاده از دمای بیشینه و کمینه محاسبه شد (۱۸). تولید سناریوهای اقلیمی دوره‌های آینده که از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد بررسی قرار گرفت و بصورت خلاصه با ۲۰۲۵ نشان داده می‌شود و دیگری از سال ۲۰٤۰ تا ۲۰٦۹ مورد بررسی قرار گرفت و با ۲۰۵۵ نشان داده می‌شود؛ با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-MR حاصل پروژه $CMIP_5$ تحت دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ و گزارش ارزیابی پنجم IPCC با ابزارهای تولید سناریوی اقلیمی AgMIP صورت گرفت (۱۹).



شکل ۱- ایستگاه‌های مهم کشت ذرت در کشور

Figure 1. Important corn cultivation stations in the country

مدل HadGEM2-ES با پیکربندی Earth-System توسط مرکز اداره هواشناسی هادلی انگلیس ساخته شده و برای پروژه $CMIP_5$ استفاده می‌شود؛ که زمین به‌طور استاندارد در آن گنجانده شده است (جدول ۱). این مدل برای پیش‌بینی اقلیم آینده از خصوصیات اجزای سیستم زمین شامل چرخه کربن زمینی و اقیانوسی و شیمی تروپوسفریک و روابط متقابل بین آن‌ها استفاده می‌کند (۲۰).

جدول ۱- مشخصات مدل‌های مورد استفاده

Table 1. Diagnostics of the resource used

نام مدل Model name	نوع کاربرد Application type	تعداد سطح افقی The number of horizontal surfaces	قدرت تفکیک مکانی Spatial resolution	عرض جغرافیایی Latitude
HadGEM2-ES	ارتباط بین چرخه کربن زمینی و اقیانوسی و شیمی تروپوسفریک Connections between terrestrial and oceanic carbon cycles and tropospheric chemistry	38	1.25	1.875
IPSL-CM5A-MR	ارتباط بین چرخه کربن و بازخورد بین آب و هوا و فرآیندهای بیوژئوشیمیایی Connections between the carbon cycle and feedbacks between climate and biogeochemical processes	42	1.25	2.5

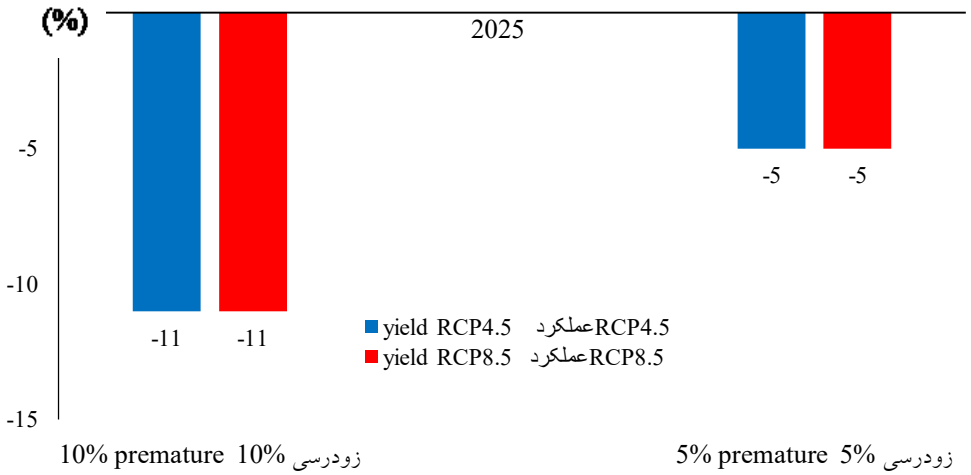
مدل IPSL-CM5A-MR با پیکربندی Earth-System توسط موسسه پیرسیمون لاپلاس (IPSL) تولید شده است و در $CMIP_5$ استفاده می‌شود (جدول ۱). این مدل اقلیمی یک مدل سطح زمین اتمسفر را به یک مدل اقیانوس یخ دریا وصل می‌کند. از این مدل با چرخه کربن در مطالعه بازخورد بین آب و هوا و فرآیندهای بیوژئوشیمیایی استفاده شده است. این مدل برای پیش‌بینی‌های اقلیم آینده از خصوصیات اجزای سیستم زمین شامل چرخه کربن زمینی و اقیانوسی و شیمی تروپوسفریک و روابط متقابل بین

آن‌ها استفاده می‌کند (۱۹). در سناریوی انتشار $RCP_{8.5}$ افزایش گازهای گلخانه‌ای در غیاب سیاست‌های تغییر اقلیم، به شدت افزایش خواهد یافت و میزان واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به ۸/۵ وات بر متر مربع و غلظت CO_2 به حدود ۹۵۰ پی‌پی‌ام خواهد رسید و این روند به‌صورت افزایشی ادامه خواهد داشت (۲۱). برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر گیاه ذرت از مدل SSM-iCrop2 استفاده شد (۱۸). این مدل رشد، نمو و عملکرد را به صورت روزانه به عنوان تابعی از شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک و مدیریت زراعی شبیه‌سازی می‌کند. همچنین این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، تاثیر خشکی هوا، شوری و CO_2 بر تولید ماده خشک، توزیع ماده خشک، تاثیر دماهای اکستریم بر سطح برگ، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد (۱۸). در مدل SSM-iCrop2 فنولوژی بر اساس مفهوم واحد دمایی تعدیل شده بر اساس مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی می‌شود. مدل مراحل سبزشدن، شروع مؤثر پر شدن غلاف، پایان مؤثر پر شدن غلاف، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند (۱۸) و واکنش سرعت نمو نسبی در هر گیاه به میانگین دمای روزانه را با استفاده از یک تابع دندان مانند توصیف می‌کند. براساس این تابع سرعت نمو در یک دمای معین و کمتر از آن صفر می‌باشد که این دما، دمای پایه نامیده می‌شود. با افزایش دما نسبت به دمای پایه، سرعت نمو افزایش می‌یابد و در دمایی به نام دمای مطلوب تحتانی، به حداکثر مقدار می‌رسد. با افزایش دما از دمای مطلوب تحتانی تا رسیدن به دمای مطلوب فوقانی، سرعت نمو در حداکثر مقدار خود باقی می‌ماند. با افزایش دما از دمای مطلوب فوقانی، سرعت نمو مجدداً کاهش می‌یابد تا اینکه در دمایی موسوم به دمای سقف، به صفر می‌رسد. سرعت نمو در دمای بالاتر از دمای سقف نیز صفر می‌باشد. به دماهای پایه، دماهای مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و دمای سقف دماهای کاردینال گفته می‌شود (۱۸). برای سازگاری گیاه ذرت به شرایط تغییر اقلیم آینده در این مطالعه، دو راهکار سازگار شدن در نظر گرفته شد. این راه‌کارهای سازگاری شامل زودرسی و دیررسی گیاه ذرت و تسریع و تأخیر در زمان کاشت و ترکیب راهکاریی که سبب افزایش عملکرد شود، می‌باشد. لازم به ذکر است در این مطالعه نتایج عملکرد راه‌کارهای سازگاری در اقلیم آینده با نتایج آینده بدون راه‌کارهای سازگاری و در راهکارهای ترکیبی با راهکارهای قبل از ترکیب مقایسه می‌شوند. بر اساس راهکار سازگار شدن زودرس کردن گیاه در مناطق اصلی کشت ذرت در کشور، در اقلیم آینده ۱۰ و ۵ درصد از واحد دمایی رسیدگی برداشت (tuHAR) کاسته شد و برای اعمال راهکار سازگار شدن دیررس کردن گیاه در اقلیم آینده نیز ۱۰ و ۵ درصد به واحد دمایی رسیدگی برداشت (tuHAR) اضافه شد. برای اعمال راهکار سازگار شدن تسریع در کاشت در اقلیم آینده ۱۰ و ۲۰ روز از مقادیر تاریخ‌های کشت کاسته شد. همچنین برای اعمال راهکار سازگار شدن تأخیر در کاشت در اقلیم آینده ۱۰ و ۲۰ روز به مقادیر تاریخ کاشت‌های اعمال شده در مدل شبیه‌سازی مورد نظر اضافه گردید (۱۸). معیار انتخاب اعمال کردن تسریع و تأخیر در کاشت در مدل شبیه‌سازی، بر اساس متغیر بودن تاریخ کشت (تا ۲۰ روز) ذرت در کشور بود (۱۸).

نتایج و بحث

راه‌کارهای سازگاری- زودرسی: بر اساس خروجی مدل‌ها در دوره ۲۰۲۵ با ۱۰ درصد زودرسی میانگین عملکرد گیاه تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به میزان ۱۱- درصد و با ۵ درصد زودرسی تحت $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ عملکرد بمیزان ۵- درصد کاهش

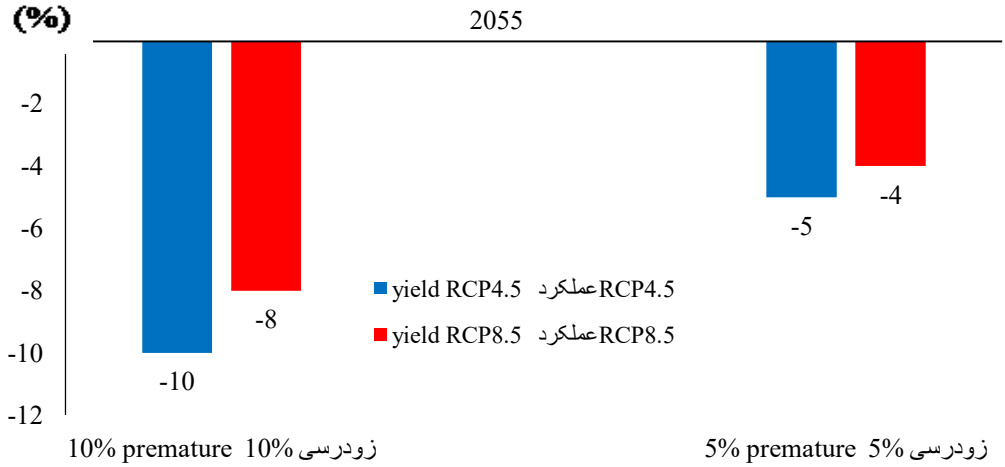
می‌یابد (شکل ۲). میزان زودرسی گیاه با افزایش دما ارتباط دارد و به همین دلیل بین سناریوهای انتشار تفاوتی دیده نشد (۱۰). نتایج نشان داده است میانگین عملکرد ذرت در دوره ۲۰۵۵ با راهکار ۵ درصد زودرسی تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب ۵- و ٤- درصد و با راهکار ۱۰ درصد زودرسی تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب ۱۰- و ۸- درصد نسبت به دوره قبل از اعمال راهکار سازگار شدن FWAS (future without adaptation strategy) کاهش نشان داد (شکل ۳).



شکل ۲- تغییرات میانگین عملکرد در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوهای $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ نسبت به دوره FWAS با راهکار ۵ و ۱۰ درصد زودرسی

Figure 2. Average yield changes in the period of 2025 under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios compared to the FWAS period of 5 and 10% prematurity

طبق پیش‌بینی مدل با زودرس کردن محصول در مناطق اصلی کشت ذرت در هر دو دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت هر دو سناریوی انتشار، میانگین عملکرد کشور نسبت به دوره قبل از اعمال راهکار سازگار شدن (FWAS) کاهش خواهد یافت؛ که این کاهش عملکرد در هر دو دوره با زودرس کردن گیاه به میزان ۱۰ درصد با شدت بیشتری نشان داده شد.

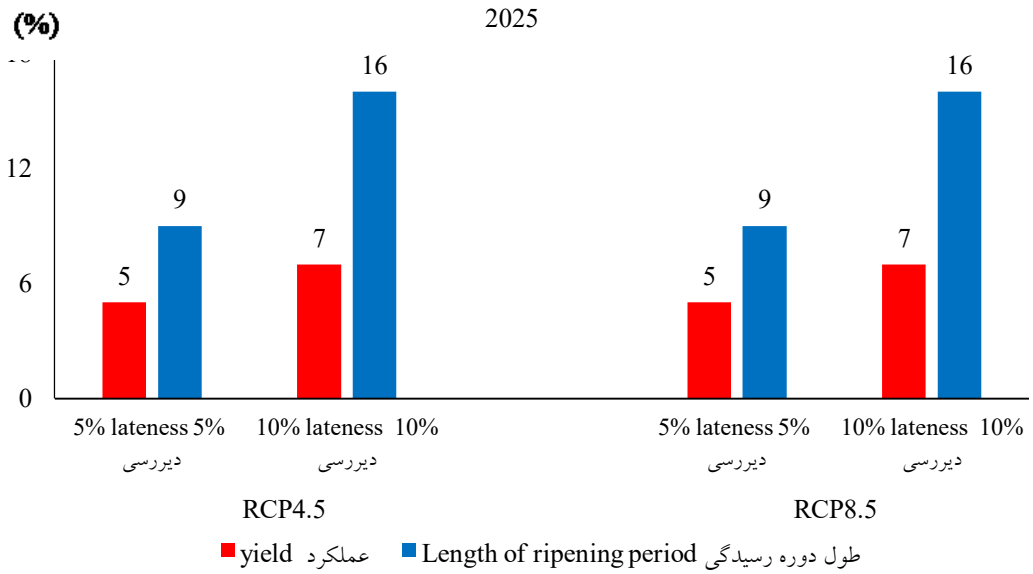


شکل ۳- تغییرات میانگین عملکرد در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوهای $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ نسبت به دوره FWAS با راهکار ۵ و ۱۰ درصد زودرسی

Figure3. Average yield changes in the period 2055 under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ compared to the efficient FWAS period of 5 and 10% prematurity

با وجود کاهش طول دوره رشد به دلیل افزایش دما در آینده، با زودرس کردن گیاه، طول دوره رشد با کاهش بیشتری مواجه خواهد شد و میزان تشعشع دریافتی در طول دوره رشد کمتر خواهد بود و در نتیجه ماده خشک کمتری در گیاه تولید می‌شود. کارایی مصرف تشعشع با عملکرد رابطه مستقیم دارد و زمانی که کارایی مصرف تشعشع کاهش پیدا کند؛ عملکرد نیز کاهش پیدا می‌کند (۲۲).

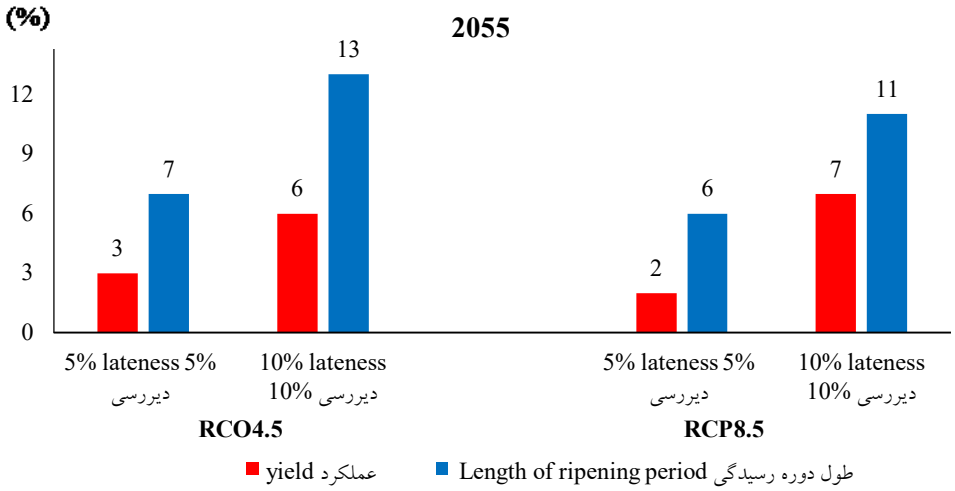
دیررسی: بر اساس نتایج میانگین عملکرد ذرت در دوره ۲۰۲۵ نسبت به دوره FWAS با راهکار ۵ درصد دیررسی تحت دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌میزان ۵ درصد و با ۱۰ درصد دیررسی تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ نسبت به دوره FWAS به میزان ۷ درصد افزایش یافته است که بین دو سناریو اختلافی مشاهده نشد (شکل ٤).



شکل ٤- تغییرات میانگین عملکرد و طول دوره رسیدگی در دوره ۲۰۲۵ نسبت به دوره FWAS با راهکار ۵ و ۱۰ درصد دیررسی

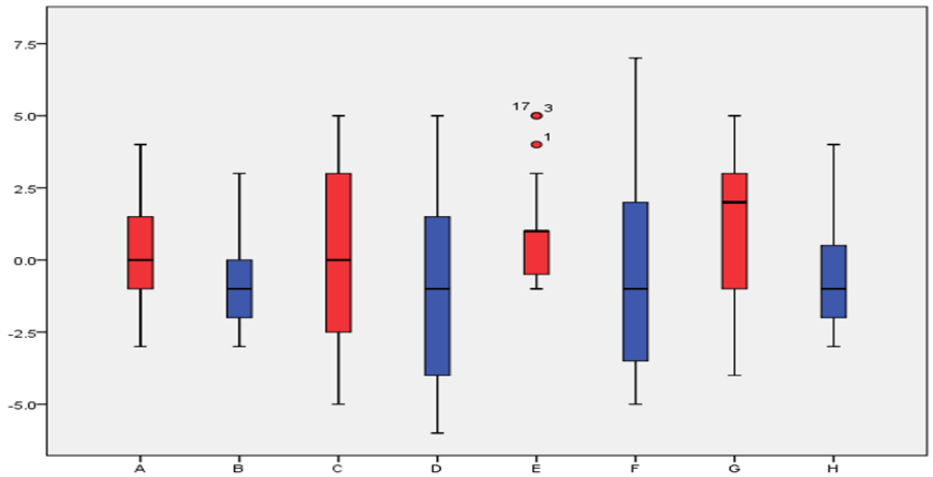
Figure 4. Changes in the average performance and the length of ripening period in the 2025 period compared to the FWAS period with the solution of 5 and 10 percent lateness

طبق پیش‌بینی‌ها در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره FWAS نیز میانگین عملکرد ذرت در راهکار ۵ درصد دیررسی تحت سناریوی $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب به میزان ۳ و ۲ درصد و در راهکار ۱۰ درصد دیررسی به میزان ٦ و ۷ درصد افزایش یافت (شکل ۵). طبق مشاهدات میانگین عملکرد ذرت در بیشتر مناطق مورد بررسی با اعمال راهکار سازگار شدن ۵ و ۱۰ درصد دیررسی در هر دو دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ و تحت هر دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ نسبت به دوره FWAS افزایش یافته است؛ که علت آن افزایش طول دوره رسیدگی بود. این افزایش با اعمال راهکار ۱۰ درصد دیررسی، بدلیل افزایش بیشتر طول دوره رسیدگی با شدت بیشتری خود را نشان داده است. نتایج محققان نیز بیانگر افزایش عملکرد دانه با پذیرش ارقام دیررس به عنوان راه‌کار سازگاری، بدلیل دوره رشد طولانی‌تر بوده و موید این مطلب است (۹). با افزایش طول دوره رسیدگی میزان کارایی استفاده از تشعشع نیز افزایش می‌یابد و توان تولید ماده خشک و آسیمیلات گیاه افزایش پیدا می‌کند، که سبب بهبودی عملکرد می‌شود (۹).



شکل ۵- تغییرات میانگین عملکرد و طول دوره رسیدگی در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره FWAS با راهکار ۵ و ۱۰ درصد دیررسی

Figure5. Changes in the average performance and the length of ripening period in the period of 2055 compared to the period of FWAS with 5 and 10 percent delay solutions



شکل ٦- تغییرات عملکرد با راهکار ۱۰ و ۲۰ روز تسریع در کاشت در دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوهای $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$

Figure 6. Yield changes with 10 and 20 days acceleration in planting in 2025 and 2055 and under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios

A: ۱۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{4.5}$-۲۰۵۵

B: ۱۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{4.5}$-۲۰۲۵

C: ۲۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{4.5}$-۲۰۵۵

D: ۲۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{4.5}$-۲۰۲۵

E: ۱۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{8.5}$-۲۰۵۵

F: ۲۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{8.5}$-۲۰۲۵

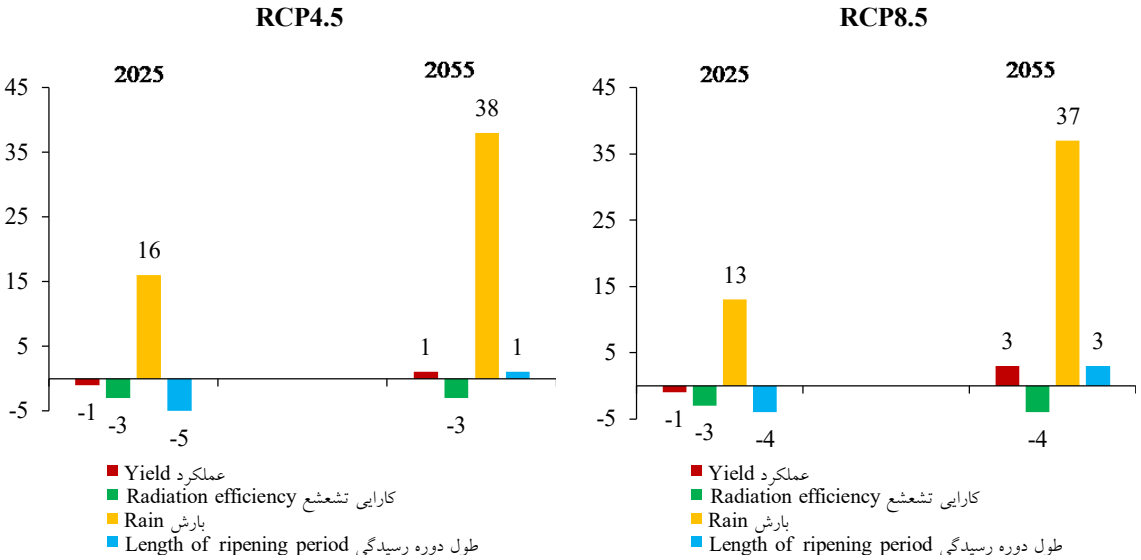
G: ۲۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{8.5}$-۲۰۵۵

H: ۱۰ روز تسریع در کاشت دوره $RCP_{8.5}$-۲۰۲۵

تسریع در کاشت: بررسی‌ها نشان داده است که تسریع در کشت در گیاه ذرت می‌تواند ۱۲ درصد سبب بهبودی عملکرد در این گیاه گردد (۱). نتایج شبیه‌سازی در این تحقیق نشان داد با تسریع در کاشت به میزان ۱۰ و ۲۰ روز زودتر از تاریخ کاشت رایج، میانگین عملکرد ذرت در ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره ۲۰۲۵ نسبت به دوره FWAS کاهش و در دوره ۲۰۵۵ تحت هر دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ افزایش یافت (شکل ٦). بر اساس نتایج با ۱۰ روز تسریع در کاشت میانگین عملکرد ذرت در دوره

۲۰۲۵ تحت سناریو انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب ۰/۹- و ۰/٦- کاهش پیدا کرد؛ و با تسریع در کاشت از ۱۰روز به ۲۰ روز در سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ این کاهش به ۱- درصد رسید (شکل ٦). همچنین خروجی مدل‌ها در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ نشان داد؛ میانگین عملکرد با ۱۰ روز تسریع در کاشت به‌ترتیب به میزان ۰/۱۷ و ۰/۹٤ درصد و با ۲۰ روز کاشت زودتر از موعد به میزان ۱ و ۳ درصد افزایش می‌یابد. علت افزایش عملکرد در دوره ۲۰۵۵، افزایش طول دوره رسیدگی می‌باشد؛ که سبب جذب بیشتر تشعشع خورشیدی و افزایش فتوسنتز می‌شود که در نهایت سبب بالارفتن میزان عملکرد گیاه می‌شود.

البته افزایش طول فصل رشد بدون فراهمی آب مزیتی برای رشد بهتر گیاه و افزایش عملکرد نخواهد داشت. تعریفی درست از طول واقعی فصل رشد، طول دوره بدون یخبندان به شرط دسترسی به ذخیره کافی آب در خاک می‌باشد (۲۳)، در این مطالعه با ۲۰ روز تسریع در کاشت در دوره ۲۰۵۵ بیشترین میزان عملکرد را شاهد بودیم که علت آن علاوه بر افزایش طول دوره رسیدگی افزایش میزان بارندگی بوده است (شکل ۷)؛ و از آنجایی‌که افزایش میزان بارندگی سبب افزایش میزان بهره‌وری آب و رطوبت خاک می‌شود و بهره‌وری آب و عملکرد گیاه نیز رابطه مستقیم دارند (۲۳)، افزایش عملکرد ذرت دور از انتظار نخواهد بود.

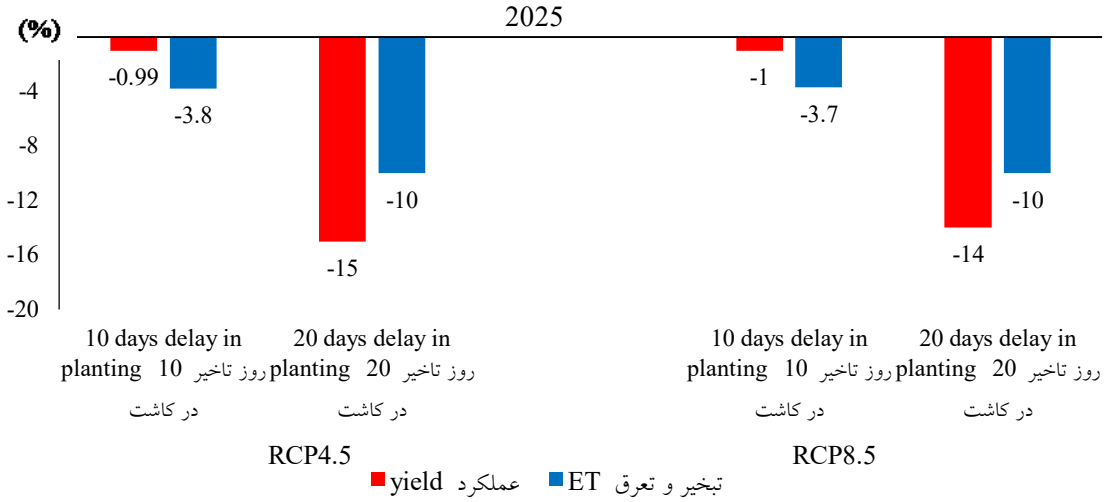


شکل ۷- تغییرات عملکرد با تشعشع، بارش و طول دوره رسیدگی با ۲۰ روز تسریع در کاشت

Figure 7. Changes yield with radiation, precipitation and the length of ripening period with 20 days of accelerated sowing

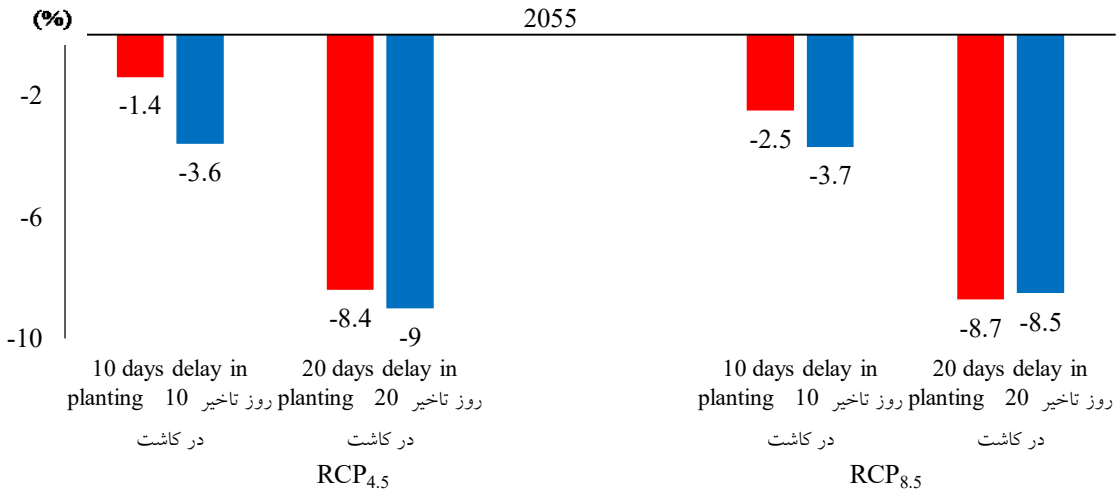
تاخیر در کاشت: طبق پیش‌بینی‌ها با ۱۰ روز تاخیر در کاشت در دوره ۲۰۲۵ عملکرد ذرت تحت سناریوهای انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب ۰/۹- و ۱- درصد کاهش می‌یابد (شکل۸). درحالی‌که با ۲۰ روز تاخیر در کاشت میزان کاهش عملکرد به ۱۵- و ۱٤- درصد رسید. در دوره ۲۰۵۵ نیز با اعمال راهکار ۱۰ روز تاخیر در کاشت تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ میزان عملکرد به‌ترتیب ۱/٤- و ۲/۵- درصد و با ۲۰ روز تاخیر در کاشت ۸/٤- و ۸/۷- درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۹). بر اساس مشاهدات با اعمال راهکار سازگار شدن ۱۰ و ۲۰ روز تاخیر در کاشت، عملکرد ذرت تحت هر دو سناریوی انتشار

$RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ و در هـــر دو دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ نسبت به دوره FWAS کاهش پیدا کرد. علیـرغم ایـن که کاهش عملکـرد در هـر دو دوره و تحـت هـر دو سناریو در راهکار ۲۰ روز تاخیر در کاشت بـا شـدت بیشتری نشان داده شد؛ در میزان کـاهش عملکـرد دو دوره و بـین دو سـناریو $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ اختلـاف چندانی مشاهده نشد. علت کـاهش عملکـرد ذرت بـا اعمال راهکار ۱۰ و ۲۰ روز تاخیر در کاشـت کـاهش میزان تبخیر و تعرق بود که در هـر دو دوره و تحـت هردو سناریو کاهش پیدا کرده است که می‌توان علـت آنرا به بسته شدن روزنه‌ها در اثر افزایش دما با اعمال راهکار تاخیر در کاشت و مقارن با گرم‌تر شـدن هـوا نسبت داد (۲٤).



شکل ۸- تغییرات عملکرد با میانگین تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوهای $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ با راهکار ۱۰ و ۲۰ روز تاخیر در کاشت

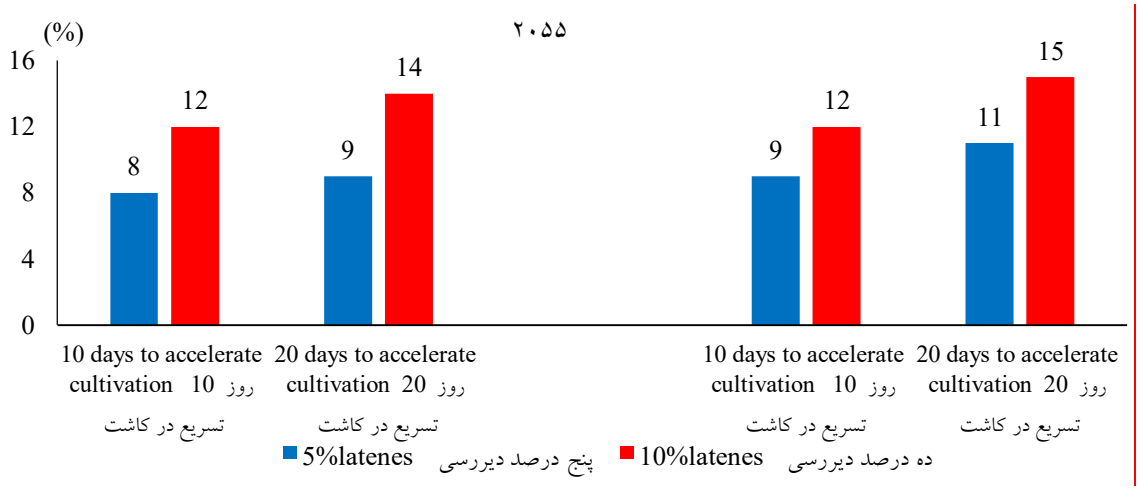
Figure8. Average yield changes with average evaporation and transpiration in the period of 2025 under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ with 10 and 20 days delay in planting



شکل ۹- تغییرات عملکرد با تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوهای $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ با راهکار ۱۰ و ۲۰ روز تاخیر در کاشت

Figure9. Yield changes with evaporation and transpiration in the period of 2055 under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ scenarios with 10 and 20 days delay in planting

ترکیب راه‌کارهای سازگاری: در بین راه‌کارهای سازگاری اعمال شده برای مقابله با اثر تغییر اقلیم در گیاه ذرت دو راهکار زودرسی و تاخیر در کاشت سبب کاهش عملکرد شده است. به همین منظور از ترکیب این دو راهکار صرف نظر گردیده و دو راهکار دیررسی و تسریع در کاشت در دوره ۲۰۵۵ که سبب افزایش عملکرد گشته، استفاده شده است. خروجی دو مدل نشان داده است میانگین عملکرد ذرت در ترکیب ۵ درصد دیررسی با ۱۰ روز تسریع در کاشت تحت سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به‌ترتیب ۸ و ۹ درصد و با ۲۰ روز تسریع در کاشت ۹ و ۱۱ درصد افزایش پیدا کرده است. در ترکیب ۱۰ درصد دیررسی با ۱۰ روز تسریع در کاشت تحت هر دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ ۱۲ درصد و در ترکیب ۱۰ درصد دیررسی با ۲۰ روز تسریع در کاشت تحت هر دو سناریو انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$، ۱۴ و ۱۵ درصد افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۰). نتایج نشان داده است میانگین طول دوره رسیدگی در دوره ۲۰۵۵ تحت هردو سناریو افزایش پیدا کرده است؛ که علت آن افزایش طول دوره رسیدگی بوده است؛ و از آنجایی‌که هرچه طول دوره رسیدگی افزایش یابد؛ میزان جذب تشعشع خورشیدی نیز افزایش پیدا می‌کند و فرصت بیشتری برای توسعه کانوپی و افزایش تولید ماده خشک وجود دارد در نتیجه میزان عملکرد گیاه افزایش پیدا می‌کند (۲۳).



شکل ۱۰- میانگین تغییرات عملکرد با ترکیب راهکار دیررسی و تسریع در کاشت در دوره ۲۰۵۵ تحت دو سناریوی $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$

Figure10. The average yield changes with the combination of delay and acceleration of planting in the period of 2055 under two scenarios $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$

نتیجه‌گیری کلی

گیاه ذرت جز غلات اصلی دنیا می‌باشد و نقش مهمی در تغذیه دارد؛ تحقیقات در مورد افزایش سازگاری این گیاه در برابر تغییرات اقلیمی و کاهش مضرات آن سبب افزایش امنیت غذایی می‌شود. بر اساس نتایج بدست آمده از خروجی‌های دو مدل و استفاده از راهکارهای سازگاری برای تعدیل اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گیاه ذرت استفاده از راهکار زودرسی بدلیل کاهش عملکرد راهکار مناسبی نمی‌باشد ولی در مقابل استفاده از راهکار سازگاری دیررسی راهکار مناسبی می‌باشد. دیررس کردن گیاه در این تحقیق در هر دو دوره و تحت هر دو سناریوی انتشار بدلیل افزایش طول دوره رسیدگی نسبت به دوره FWAS سبب افزایش میزان عملکرد گیاه گشته است. استفاده از راهکار تسریع در کاشت تحت هر دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ در دوره ۲۰۲۵

سبب کاهش عملکرد و در دوره ۲۰۵۵ بدلیل افـزایش طول دوره رسیدگی سبب افزایش عملکرد شده است. تاخیر در کاشت نیـز بـدلیل نامناسـب بـودن شـرایط محیطی و کاهش تبخیر و تعرق که در نهایت منجر به کاهش عملکرد گشته است؛ راهکار مناسبی نمی‌باشد. بـرای ترکیـب راهکارهـای سـازگاری از دو راهکـار دیررسی و راهکار تسریع در کاشت در دوره ۲۰۵۵ که بدلیل افزایش میزان بارندگی و طول دوره رشد سـبب افزایش عملکرد گشته است اسـتفاده شـده اسـت. بـر اساس نتایج این تحقیق استفاده از ارقام دیررسـی کـه زودتر از تاریخ کشت رایج کشت شوند، می‌توانـد تـا حدی اثرات مضر تغییر اقلیم بـر روی عملکـرد گیـاه ذرت را جبران کند.

References

1. Saddique, Q., Imran, M., Rahman, M. H., Jiatun, X., Waseem, M., Waqas, M. M., Ahmad, I., Chong, L. & Cai, H. (2020). Efects of elevated air temperature and CO_2 on maize production and water use efeciency under future climate change scenarios in shaanxi province china. *Mitigation* and *Adaptation Strategies* for G*lobal Change*, *25*(1), 1523-1543.
2. Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). Online statistical database: Trade. 9-16.
3. Naveenkumar, K. L., Sen, D. & Khanna, V. (2018). Effect of maize production in a changing climate Its impacts, adaptation, and mitigation strategies through breeding. *Jornal of Oncology Medicine*, *2*(4), 186-190.
4. Shiri, M. (2018). The mitigation of climate change effect on maize grain yield by changing of planting date in Moghan. *Cereal Research*, *7*(4), 563-578. (In Persian)
5. Li, X., Takahashi, T., Suzuki, N. & Kaiser, H. M. (2014). Impact of climate change on maize production in Northeast and Southwest China and risk mitigation strategies. *Apcbee Procedia*, *8*(2), 11-20.
6. Pradela, W., Gattob, M., Hareaua, G., Pandeyc, S. K. & Bhardwayd, V. (2019). Adoption of potato varieties and their role for climate change adaptation in India. *Climate Risk Management*, *23*(2), 114-123.
7. Wang, H. Q., Ge, J., Dai, Z. & Tao, N. (2015). Geographical pattern in first bloom variability and its relation to temperature sensitivity in the USA and China. *International Journal of Biometeorology*, *59*(3), 961-969.
8. Zunfu, L., Feifei, L. & Guoquan L. (2019). Adjusting sowing date and cultivar shift improve maize adaption to climate change in China. *Mitigation and Adaptation Strategies* for G*lobal Change*, *25*(1): 87-106.
9. Tao, F., Zhang, Z., Zhang, S., Rotter, R., Shi, W., Xiao, D., Liu, Y., Wang, M., Liu, F. & Zhang, H. (2016). Historical dataprovide new insights into response and adaptation of maize production systems to climate change/variability in China. *Field Crops Research*, *185*(1), 1-11.
10. Shabbir, Gh., Khaliq, T., Ahmad, A. & Saqib, M. (2017). Assessing the climate change impacts and adaptation strategies. *Nation Library of Medicine*, *27*(18), 22568-22578.
11. Moradi, R., Koocheki, A. & Nassiri, M. (2014). Effect of climate change on maize production and shifting of planting date as adaptation strategy. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *23*(4), 111-130. (In Persian)
12. Ansari, M., Lin, Y. & Lur, H. (2021). Evaluating and adapting climate change impacts on rice production in Indonesia: A cace study of the Keduang subwatershed, Central Java. *Environment*, *36*(1), 1-17.
13. Addis, Y. & Abirdew, S. (2021). Smallholder farmers perception of climate change and adaptation strategy choices in Central Ethiopia. *Climate*

Change Strategies and Management, 13(4), 463-482.

14. Yang, X., Sun, J., Gao, J., Qiao, S., Zhang, B., Bao, H., Feng, X. & Wang, S. (2021). Effects of climate change on cultivation patterns and climate suitability of spring maize in inner Mongolia. *Environmental Science, Agricultural and Food Sciences, 8072*(13), 1-21.
15. Rachana, D., Pathaka, H., Chakrabartia, B., Singha, Sh. & Kumar Guptaa, D. (2020). Impact of terminal heat stress on wheat yield in India and options for adaptation. *Agricultural Systems, 2*(1), 181-197.
16. Karami, F., Khaledi, SH., Shakibai, A., Barati, G. & Babaeian, I. (2018). Simulation yield of maize based on scenarios of climate change in Fars province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 17*(47), 77-93. (In Persian)
17. Heydari, N. (2016). Climate change and its adaptation measures for agriculture. *Journal of Water Management in Agriculture, 4*(2), 13-26. [In Persian]
18. Soltani, A. & Sinclair, T. R. (2012). Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. *European Journal of Agronomy*, *38*(4), 22-31.
19. Ruane, A., Winter, J., Dermid, S. & Hudson, N. (2015). Climate data and scenarios for integrated assessment. Climate change and agroecosystems: Agri Model Intercompar. *Improvement Project, 25*(2), 45-78.
20. Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux, M., Gedney, N., Hinton, T., Jones, C. D., Liddicoat, S., Connor, F., Rae, J., Senior, C., Totterdell, I., Woodward, S., Reichler, T. & Kim, T. (2011). The $HadGEM_2$ family of met office unified model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, *4*(1), 723-757.
21. Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N. & Rafaj, P. (2011). $RCP_{8.5}$ A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climate Change*, *109*(1), 33-57.
22. Qi-hua, L., Xiu, W., Bo-cong, C. & Jie, G. (2014). Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. *Rice Science, 21*(5): 243-251.
23. Koocheki, A. & Nasiri mahalati, M. (2016). Climate change effects on agricultural production of Iran: II. Predicting productivity of field crops and adaptation strategies. *Field Crops Research, 14*(1), 1-20. [In Persian]
24. Saeidi, R. & sotoodehnia, A. (2021). Yield reaction to evapotranspiration of maize, under the effect of water stress at different growth stages (in Qazvin Plain). *Iranian Journal of Soil and Water Research, 52*(3), 611-620. (In Persian)