

The impact of climate change on maize yield using the SSM-iCrop₂ model

Fahimeh Alizadeh¹, Faezeh Zaefarian^{2*}, Benjamin Torabi³, Majid Alimagham⁴

¹ Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Email: falizadeh1119@gmail.com

^{2*} Corresponding author, Professor of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Email: fa_zaefarian@yahoo.com

³ Professor of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Email: ben_torabi@yahoo.com

⁴ Ph.D Graduated Student of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Email: m.alimagham@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-11-8
Accepted: 2022-2-13

Keywords:
CO₂ changes
temperature changes
RCP
simulation

ABSTRACT

Background and purpose: Climate change is one of the most important threats to humanity today, which lack of attention causes many problems and irreparable damages. On the other hand, corn (*Zea mays*) is considered as one of the most important cereals in the world; that climate change causes the yield damage to this plant. While, it is possible to predict the future climate conditions and its impact on the corn plant through modeling, and considering the fact that the impact of future climate changes on the corn plant has not been investigated in a standard and serious manner with the SSM-iCrop₂ model; The purpose of this study was to investigate the effects of climate change on the corn plant using the above model.

Materials and methods: The statistics and information of meteorological stations of the basic period, including daily values of maximum and minimum temperature and rainfall of the desired stations, were obtained from the statistical information center of the National Meteorological Organization. To obtain the characteristics of the soil of the studied areas, the method of preparing general soil profiles was used, and to simulate the effects of climate change on the corn plant, the SSM-iCrop₂ model was used. In this simulation, the average amount of CO₂ for the past period was 360 ppm and for the period of 2025 under the emission scenario of 4.5 and 8.5 was considered as 423 and 432 ppm and for the period of 2055 under these two emission scenarios as 499 and 571 ppm, respectively.

Results: Based on the results of the average temperature changes in the period of 2055 under the RCP_{4.5} and RCP_{8.5} scenarios, will increase by 3.9 and 4.7 °C, respectively, and in the period of 2025 under the RCP_{4.5} and RCP_{8.5} scenarios, will increase by 1.9 and 2.2 °C, respectively, compared to the base period. The efficiency of using radiation will also increase in most stations. The results indicated a reduction in the length of the maturity period under both scenarios in both periods; this reduction is more evident in the period of 2055 compared to the period of 2025. The amount of water productivity in the period of 2055 has decreased due to the increase of CO₂ and temperature; while in the

period of 2025, it has shown an increase under both emission scenarios. Also, yield was reduced in both periods.

Conclusion: The output of the models shows the increase in temperature and the amount of CO₂ in the future climate conditions, which will reach a higher rate in the period of 2055 compared to the period of 2025; reduces the length of the maturity period in both periods. On the other hand, the shorter the length of the maturity period, the faster the grain fills up and causes a decrease in the weight of the grain, which ultimately leads to a decrease in yield. The results indicate a decrease in evaporation and transpiration in all stations and an increase in radiation. The amount of yield has also decreased in most of the stations despite the increase in the efficiency of using radiation, which is not far from expected due to the increase in temperature and CO₂ level; and considering that the increase in temperature and CO₂ is greater in the period of 2055; The amount of yield and the length of the maturity period will decrease more intensively in the period of 2055. According to the mentioned materials, the phenomenon of climate change can cause serious risks for farmers in the future; so, in order to achieve the optimal production and performance of products, it is necessary to examine the environmental conditions in terms of capabilities and limitations and to perform some kind of zoning. Therefore, by examining the future climatic conditions, it is possible to significantly influence the management conditions of the farm and ultimately affect the yield of the crops.

Cite this article: Alizadeh, F., Zaefarian, F., Torabi, B., Alimagham, M. 2025. The impact of climate change on maize yield using the SSM-iCrop2 model. *Crop Production Journal*, 18 (3), 1-16.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2025.20764.2547](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.20764.2547)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

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



تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاه ذرت با استفاده از مدل SSM-iCrop₂

فهیمة علیزاده^۱، فائزه زعفریان^{۲*}، بنیامین ترابی^۳، سیدمجید عالیمقام^۴

^۱ دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه:

falizadeh1119@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استاد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fa_zaefarian@yahoo.com

^۳ استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ben_torabi@yahoo.com

^۴ دانش آموخته مقطع دکتری گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

رایانامه: m.alimagham@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: تغییر اقلیم یکی از مهم ترین تهدیدهای امروزه بشر است که کم توجهی به آن موجب بروز مشکلات عدیده و خسارات جبران ناپذیری می شود. ذرت (<i>Zea mays</i>) جزء غلات مهم دنیا به شمار می رود؛ که تغییرات آب و هوایی سبب کاهش عملکرد این گیاه می شود. پیش بینی شرایط اقلیمی آینده و تأثیر آن بر گیاه ذرت از طریق مدل سازی امکان پذیر می باشد و با عنایت به این موضوع که تاکنون تأثیر تغییرات آب و هوایی آینده بر گیاه ذرت با مدل SSM-iCrop₂ به طور استاندارد مورد بررسی قرار نگرفته است؛ هدف از این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم روی گیاه ذرت با استفاده از مدل فوق بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴	مواد و روش ها: آمار و اطلاعات ایستگاه های هواشناسی مناطق کشت ذرت در دوره پایه شامل مقادیر روزانه دمای بیشینه و کمینه و بارندگی ایستگاه های مورد نظر از مرکز اطلاعات آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. برای بدست آوردن خصوصیات خاک مناطق مورد بررسی از روش تهیه پروفیل های عمومی خاک استفاده شد و جهت شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر گیاه ذرت از مدل SSM-iCrop₂ استفاده شد. در این شبیه سازی، متوسط مقدار CO₂ برای دوره گذشته ۳۶۰ پی پی ام و برای دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوی انتشار ۴/۵ و ۸/۵ به ترتیب ۴۲۳ و ۴۳۲ پی پی ام و برای دوره ۲۰۵۵ تحت این دو سناریوی انتشار به ترتیب ۴۹۹ و ۵۷۱ پی پی ام در نظر گرفته شد.
واژه های کلیدی: تغییرات CO ₂ ، تغییرات دمایی، شبیه سازی RCP	یافته ها: بر اساس نتایج میانگین تغییرات دما در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، به ترتیب به میزان ۳/۹ و ۴/۷ درجه سانتی گراد و در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5}، به ترتیب به میزان ۱/۹ و ۲/۲ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. کارایی استفاده از تشعشع نیز در اکثر ایستگاه ها با افزایش روبرو خواهد شد. نتایج حاکی از کاهش طول دوره رسیدگی تحت هر دو سناریو در هر دو دوره بوده است؛ که این کاهش در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره ۲۰۲۵ مشهودتر است. میزان بهره وری آب در دوره ۲۰۵۵ بدلیل بالاتر رفتن میزان دما کاهش داشته؛ درحالی که در دوره ۲۰۲۵ تحت هر دو سناریوی انتشار افزایش نشان داده است. همچنین،

میزان عملکرد نیز در هر دو دوره کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: خروجی مدل‌ها بیان‌گر افزایش دما و میزان CO₂ در شرایط اقلیمی آینده می‌باشد؛ که این افزایش در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره ۲۰۲۵ به میزان بالاتری می‌رسد؛ و این افزایش دما سبب کاهش طول دوره رسیدگی در هر دو دوره می‌شود. از طرفی هر چه طول دوره رسیدگی کمتر باشد، سرعت پرشدن دانه بیشتر شده و سبب کاهش وزن دانه می‌شود که در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود. نتایج حاکی از کاهش تبخیر و تعرق در تمام ایستگاه‌ها و افزایش میزان تشعشع می‌باشد. علی‌رغم افزایش کارایی استفاده از تشعشع، میزان عملکرد نیز در بیشتر ایستگاه‌ها کاهش یافت که با توجه به افزایش دما و بسته شدن روزنه‌ها به علت بالا رفتن میزان CO₂ دور از انتظار نخواهد بود؛ و با عنایت به اینکه افزایش دما در دوره ۲۰۵۵ بیشتر می‌باشد؛ میزان عملکرد و طول دوره رسیدگی در دوره ۲۰۵۵ با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. در مجموع با توجه به مطالب عنوان شده، پدیده تغییر اقلیم می‌تواند در آینده خطرهای جدی برای کشاورزان در پی داشته باشد؛ لذا، به منظور دستیابی به تولید و عملکرد مطلوب محصولات ضروری است تا شرایط محیطی از جنبه قابلیت‌ها و محدودیت‌ها مورد بررسی قرار گرفته و نوعی پهنه‌بندی انجام شود. بنابراین، با بررسی شرایط اقلیمی آینده می‌توان بصورت محسوسی بر شرایط مدیریتی مزرعه تاثیرگذار بود و در نهایت عملکرد محصولات را تحت تاثیر قرار داد.

استناد: علیزاده، فهیمه؛ زعفریان، فائزه؛ ترابی، بنیامین؛ عالیمقام، سیدمجید. (۱۴۰۴). تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاه ذرت با استفاده از مدل SSM-iCrop2. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۳)، ۱-۱۶.



[10.22069/ejcp.2025.20764.2547](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.20764.2547)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

کشاورزی بنا به تعریف عام آن، فعالیت اقتصادی است؛ که در جهت تولید غذا می باشد و از آنجایی که تأمین غذای کافی برای افراد جامعه، از مهم ترین ارکان اصلی توسعه پایدار هر کشور می باشد (۱)؛ لذا، امنیت غذایی حال و آینده جهان در گرو موفقیت این فعالیت خواهد بود (۲). ایجاد امنیت غذایی از چالش های اساسی پیش روی بشر است (۳) و با توجه به گزارش ها پس از یک دوره طولانی کاهش گرسنگی، شاهد افزایش دوباره آن هستیم (۴). با توجه به دو برابر شدن جمعیت کره زمین تا سال ۲۰۵۰ تولید غذا باید ۵ برابر شود و تولید سه محصول عمده غلات به تنهایی (ذرت، گندم و برنج) باید ۷۰ درصد افزایش یابد (۱ و ۵)؛ که به دلیل کمبود آب و زمین زراعی امکان پذیر نمی باشد (۶). سیستم های زراعی، تقریباً ۴۰ درصد از سطح زمین را پوشش می دهند و در برابر تغییرات آب و هوایی و تنوع آن آسیب پذیر هستند (۷). گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ناشی از فرایندهای طبیعی و عوامل انسانی از اصلی ترین مسائلی هستند که دنیای امروز با آن مواجه است (۱ و ۸)؛ و عملکرد بسیاری از گیاهان از جمله ذرت را تحت تاثیر خود قرار می دهد (۹). ذرت از نظر تولید جهانی بعد از گندم و برنج مقام سوم را به خود اختصاص داده است (۱۰)؛ تحقیقات نشان داده است در سال های آتی عملکرد محصولات زراعی در مناطق مختلف کشورمان نیز تحت تاثیر تغییر اقلیم و به ویژه افزایش دما، روند نزولی پیدا می کند (۱۱). فلاحتی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی نتیجه گرفتند در شرایط اقلیمی آینده، افزایش دما، بیشترین سهم را در کاهش عملکرد محصولات زراعی مانند گندم، ذرت، چغندر قند (*Beta vulgaris*) و نخود (*Cicer arietinum*) دارد (۳)؛ که احمدی و همکاران (۲۰۱۹) این کاهش را ۵ تا ۴۰ درصد در

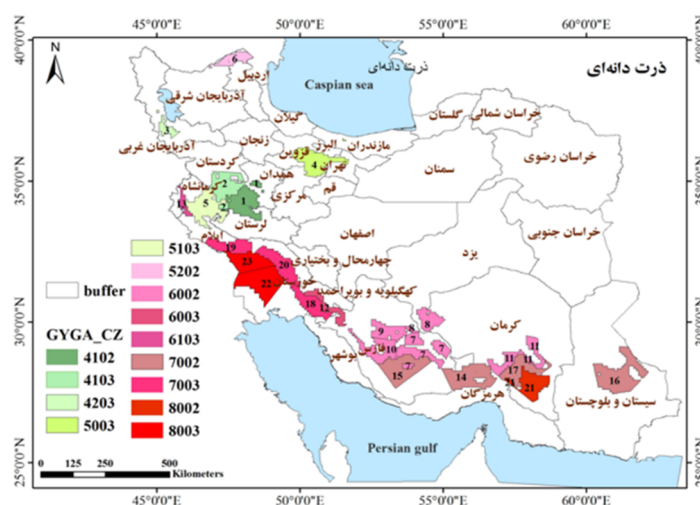
کشور اعلام کردند (۱۲). وو و همکاران (۲۰۲۱) نیز طی بررسی های تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت در کشور چین به این نتیجه رسیدند که به ازای هر ۱ درجه افزایش دما، عملکرد گیاه ذرت به میزان ۳ درصد کاهش داشته است؛ و به ازای هر ۱ میلی متر افزایش در میزان بارش، عملکرد ذرت به مقدار اندکی چیزی حدود ۰/۰۴۳ درصد افزایش یافت (۱۳). دویی و همکاران (۲۰۲۰) نیز با بیان این موضوع که تأثیر افزایش دما بر عملکرد تا حد زیادی به منطقه تحت بررسی بستگی دارد نشان دادند در منطقه جنوب غربی چین، تغییر میزان بارندگی بر میزان تولید ذرت تأثیر می گذارد و بیان داشتند افزایش میزان بارش در مراحل حساس رشد ذرت می تواند سبب افزایش میزان رطوبت خاک شود که منجر به کاهش اثرات منفی افزایش دما بر تولید ذرت می شود (۱۴). مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان به وسیله مدل های گردش عمومی (GCMs) و براساس سناریوهای مختلف انجام می گیرد و تلفیق این نتایج با مدل های شبیه سازی رشد، امکان پیش بینی عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط اقلیمی آینده فراهم می سازد (۲). مدل های SSM به گروهی از مدل های شبیه سازی گیاهان زراعی اطلاق می شود؛ که ساخت آنها به سال ۱۹۸۶ برمی گردد. ساختار این مدل طی ۳۰ سال بهبود یافته و تقریباً برای تمام گیاهان زراعی استفاده شده است (۱۵). دادرسی و ترابی (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SSM-iCrop2 در استان همدان تغییر پذیری روزانه مربوط به پدیدشناسی، ماده خشک کل و سطح برگ را محاسبه کرده و سپس عملکرد را پیش بینی کردند (۱۶). در تحقیقات نهبندانی و همکاران (۲۰۲۱) که خلاء عملکرد سویا (*Glycine max*) در گرگان را با استفاده از مدل SSM-iCrop2 بررسی کردند؛ نشان دادند که گیاه سویا به میزان ۲/۴۴ تن در هکتار خلاء عملکرد داشته است (۱۷).

این پژوهش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۶ بر اساس یک پروتکل جهانی موسوم به اطلس جهانی خلاء عملکرد (GYGA) در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. برای اجرای پروتکل گیگا، ابتدا سهم

مدل SSM-iCrop2 و سناریوی اقلیمی: زیرمدل iCrop2 برگرفته از مدل اصلی SSM می‌باشد. این مدل در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان توسط سلطانی و همکاران (۲۰۱۳) طراحی و ساخته شده است (۱۵). در این مطالعه برای شبیه‌سازی اثرات تغییرات اقلیم روی گیاه ذرت از مدل SSM-iCrop2 استفاده شد. این مدل قابلیت استفاده برای طیف وسیعی از گیاهان زراعی در سطح کشور را دارد؛ و رشد، نمو و عملکرد را به صورت روزانه به عنوان تابعی از شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک،

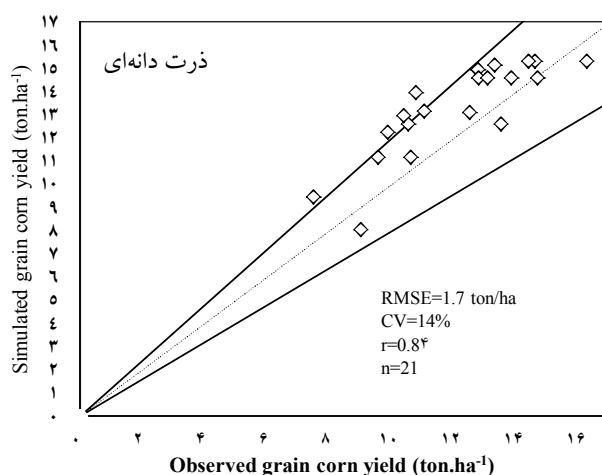
سناریوها انتشار تقریبی از واداشت خالص تابشی در سال ۲۱۰۰ را نشان داد (۲۴). در RCP_{8.5} افزایش گازهای گلخانه‌ای در غیاب سیاست‌های تغییر اقلیم، به شدت افزایش خواهد یافت (۲۵) و میزان واداشت تابشی در سال ۲۱۰۰ به ۸/۵ وات بر مترمربع و غلظت CO₂ به حدود ۹۵۰ پی‌پی‌ام خواهد رسید. در سناریوی RCP_{4.5} میزان واداشت تابشی به ۴/۵ وات بر مترمربع و غلظت CO₂ نیز حدود ۵۴۰ پی‌پی‌ام در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (۲۶).

خصوصیات رقم گیاهی و مدیریت زراعی شبیه‌سازی می‌کند (۱۵) و نتیجه ارزیابی عملکرد آن رضایت‌بخش بوده است (شکل ۲) که توسط فیاضی (۲۰۱۹) برای ذرت پارامتریابی شد (۲۲). مدل HadGEM2ES با پیکربندی زمین سیستم توسط مرکز اداره هواشناسی هادلی انگلیس ساخته شده که برای پروژه CMIP₅ استفاده شد و مدل IPSL-CM5A-MR با پیکربندی زمین سیستم توسط موسسه پیرسیمون لاپلاس تولید شده است که در CMIP₅ استفاده شد (۲۳). هر یک از



شکل ۱- ایستگاه‌های اصلی کشت ذرت در کشور (۲۲)

Figure 1. The main stations of corn cultivation in the country (22)



شکل ۲- عملکرد شبیه‌سازی شده ذرت دانه‌ای توسط مدل SSM-iCrop2 در مقابل عملکرد مشاهده شده (۲۳)

Figure 2. Simulated grain corn yield by SSM-iCrop2 model versus observed yield (23)

پارامترهای گیاهی: پارامترهای گیاهی مورد نیاز مدل SSM-iCrop2 شامل فنولوژی (دماهای کاردینال فنولوژی، واحد دمایی لازم برای سبز شدن، شروع و پایان رشد دانه، رسیدگی فیزیولوژیکی و رسیدگی برداشت)، تغییرات سطح برگ (واحد دمایی برای شاخص سطح برگ، واحد دمایی برای شروع پیری برگ و ضریب سرعت پیر شدن برگ‌ها)، تولید و توزیع ماده خشک (دماهای کاردینال تولید ماده خشک، ضریب خاموشی و کارایی استفاده از تشعشع) و عملکرد (شاخص برداشت، کسری از ماده خشک اندام‌های رویشی که در زمان پر شدن دانه به بذر منتقل می‌شوند و محتوای رطوبت دانه) می‌باشد که از نتایج سلطانی و همکاران (۲۰۲۰) استخراج شد (۱۵).

اطلاعات خاک: برای بدست آوردن خصوصیات خاک ایستگاه‌ها از روش تهیه پروفیل‌های عمومی خاک استفاده شد. در این مطالعه به منظور تهیه نقشه خاک از اطلاعات HC₂₇ (حاصل از دو پایگاه مهم اطلاعات جهانی خاک HWS و WISE) در سطح کشور استفاده شد (۲۷)؛ و پروفیل‌های عمومی خاک بر اساس

سه معیار کربن آلی، عمق ریشه و بافت خاک انتخاب شد که بر اساس حاصل‌خیزی به سه گروه حاصل‌خیزی زیاد، متوسط و کم، بر اساس بافت خاک، سه گروه رس، سیلت و شن و بر اساس عمق خاک، در سه گروه عمیق، متوسط و سطحی طبقه‌بندی شده‌اند (۲۷).

شبیه‌سازی رشد و نمو در اقلیم آینده: در این شبیه‌سازی از آمار هواشناسی دوره ۲۰۲۵-۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۵۵ (۲۰۶۹-۲۰۴۰) تحت دو سناریوی انتشار RCP_{4.5} و RCP_{8.5} استفاده شد. آمار هواشناسی ایستگاه‌ها به وسیله دو مدل گردش عمومی ES-HadGEM₂ و IPSL-CM5A-MR استخراج شد. برای شبیه‌سازی رشد و نمو در آینده فقط میزان CO₂ و آمار هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی در مدل شبیه‌سازی تغییر کرد (جدول ۱) و پارامترهای گیاهی، مدیریتی و اطلاعات خاک بدون تغییر، طبق مشخصات دوره پایه اعمال شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترسیم نمودارها و نقشه با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، ArcGIS، SPSS و SAS انجام شد.

جدول ۱- میزان تغییرات CO₂ در دوره پایه و سناریوهای مختلف انتشار

Table 1. Characteristics of CO₂ changes in the base period and different emission scenarios

ردیف	دوره	میزان دی اکسید کربن
Row	period	Carbon dioxide (CO ₂) level
1	base period	360 ppm
2	RCP _{4.5}	499 ppm
3	RCP _{8.5}	571 ppm

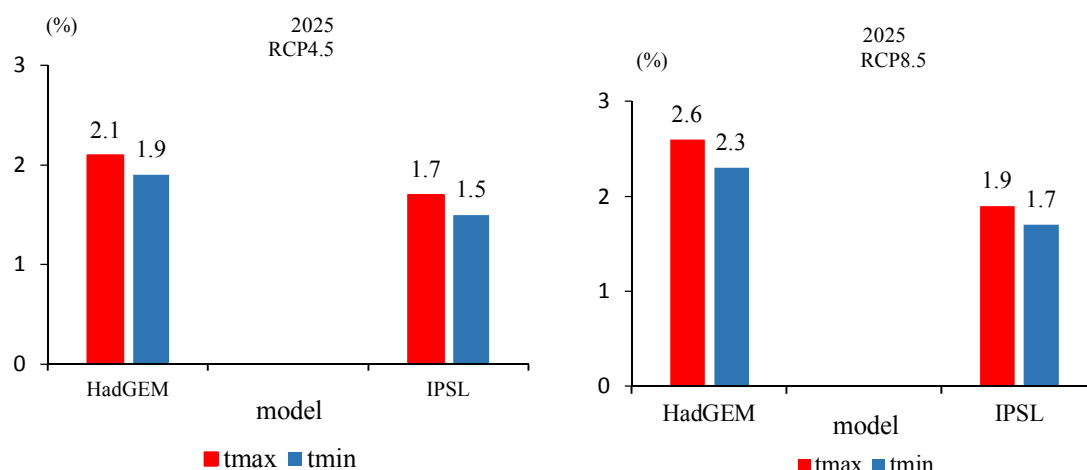
نتایج و بحث

پیش‌بینی تغییرات دمای هوا در اقلیم آینده در دوره ۲۰۲۵: میانگین دمای بیشینه و کمینه در دوره پایه در طول فصل رشد به ترتیب ۳۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده؛ که نتایج مدل‌های HadGEM و IPSL در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریو RCP_{4.5} و RCP_{8.5} بیانگر افزایش دما نسبت به دوره پایه می‌باشد (شکل ۳). بر اساس

این نتایج میانگین دمای بیشینه در مناطق اصلی کشت ذرت در دوره ۲۰۲۵ در خروجی مدل‌های HadGEM و IPSL تحت سناریوی RCP_{4.5}، به ترتیب به میزان ۲/۱ و ۱/۷ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی RCP_{8.5}، به ترتیب به میزان ۲/۶ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. میانگین دمای کمینه نیز در مدل‌های HadGEM و IPSL تحت

از ۲۹ درجه سانتی‌گراد با کوتاه کردن طول دوره رشد و آسیب رساندن به گیاه یا آنزیم‌های آن سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود و به ازای هر ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دما بیش از ۳۰ درصدی عملکرد می‌شود (۷).

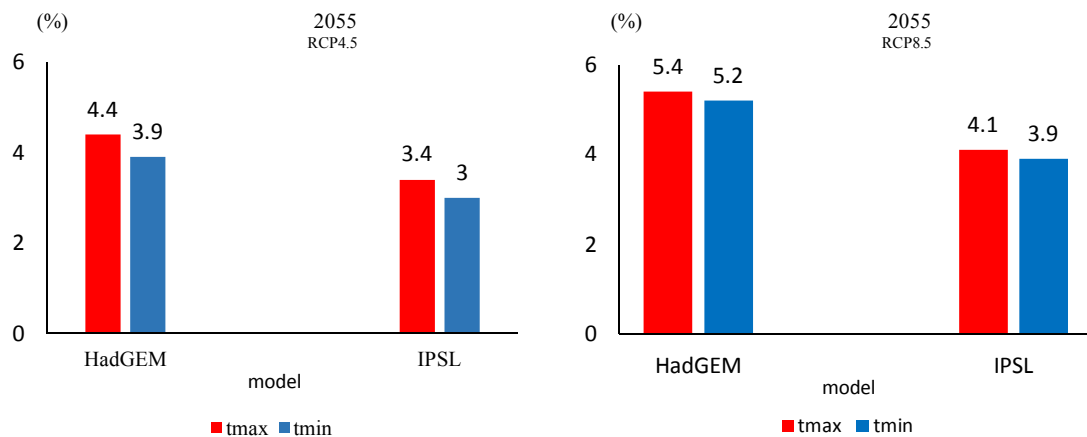
سناریوی RCP_{4.5} به ترتیب به میزان ۱/۹ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و در RCP_{8.5} به میزان ۲/۳ و ۱/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. در RCP_{8.5} بدلیل افزایش CO₂ نسبت به RCP_{4.5} افزایش دمای بالاتری مشاهده شد. افزایش دمای بیش



شکل ۳- تغییرات میانگین دما در اقلیم آینده در دوره ۲۰۲۵ نسبت به دوره پایه تحت دو سناریوی RCP_{8.5} و RCP_{4.5}
Figure 3. Average temperature changes in the future climate in the period of 2025 compared to the base period under two scenarios RCP_{4.5} and RCP_{8.5}

سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شد. خروجی ترکیب مدل‌ها نشان داد دمای کمینه نیز تحت سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5} به ترتیب به میزان ۴/۵ تا ۳/۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (شکل ۴). یک وابستگی فصلی با برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی وجود دارد و برخی از مراحل رشدی گیاه مانند دوره کاشت تا سبز شدن، گرده‌افشانی و مرحله پر شدن دانه به دما حساس‌تر هستند که در سناریوی RCP_{8.5} بدلیل افزایش دما بیشتر حساسیت این مراحل نیز بالاتر می‌رود (۷).

پیش‌بینی تغییرات دمای هوا در اقلیم آینده در دوره ۲۰۵۵: دمای پیش‌بینی شده توسط خروجی مدل‌های HadGEM و IPSL تحت دو سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5} نشان داد که میانگین دمای بیشینه و کمینه در طول فصل رشد ذرت در دوره ۲۰۵۵ در مناطق اصلی کشت آن در کشور، نسبت به دوره ۲۰۲۵ با افزایش بیشتری مواجه خواهد شد. افزایش میانگین دمای بیشینه در مناطق اصلی کشت ذرت در دوره ۲۰۵۵ در خروجی مدل‌های HadGEM و IPSL تحت سناریوی RCP_{4.5} به ترتیب به میزان ۴/۴ و ۳/۴ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی RCP_{8.5} به میزان ۵/۴ و ۴/۱ درجه



شکل ۴- تغییرات میانگین دما در اقلیم آینده در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره پایه تحت دو سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5}

Figure 4. Average temperature changes in the future climate in the period of 2055 compared to the base period under two scenarios RCP_{4.5} and RCP_{8.5}

سانتی گراد به کاهش سریع کارایی استفاده از تشعشع منجر می‌شوند (۲۹). میزان تشعشع در مقدار پایین CO₂ بین ۶۰ تا ۴۰۰ پی‌پی‌ام حساسیت زیادی به تغییر دارد؛ ولی در مقدار بیش از ۷۰۰ پی‌پی‌ام افزایش اندکی در RUE به همراه دارد (۲۸). میزان RUE در ایستگاه‌های اهواز، بهبهان، دهلران، دزفول، دوگنبدان، هرمزگان، داراب، کهنوج، جیرفت و مسجدسلیمان که تقریباً در یک موقعیت قرار گرفته‌اند (جدول ۲)؛ بدلیل افزایش دمای بیشتر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد و بسته شدن روزنه‌ها و همچنین افزایش میزان CO₂ بیشتر از یک حد معلوم در دوره ۲۰۵۵ کاهش پیدا کرده است؛ که سبب افزایش طول دوره رسیدگی شده است (۳۰)؛ که این کاهش بدلیل افزایش دمای بیشتر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های مذکور و بسته شدن روزنه‌ها و همچنین افزایش میزان CO₂ بیشتر از یک حد معلوم در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره ۲۰۲۵ می‌باشد (۱۴).

کارایی استفاده از تشعشع: خروجی مدل‌های GCM

نشان داد که میانگین کارایی استفاده از تشعشع در اکثر ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه، تحت هر دو سناریو افزایش داشته است که با نتایج هارو و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت (۲۸). میانگین کارایی استفاده از تشعشع (RUE) در دوره پایه ۳ گرم‌برمگاژول بوده؛ که این مقدار در دوره ۲۰۲۵ تحت هر دو سناریوی انتشار RCP_{4.5} و RCP_{8.5} به‌ترتیب ۳/۵۲ و ۳/۵۷ گرم‌برمگاژول و در دوره ۲۰۵۵ در سناریوهای انتشار RCP_{4.5} و RCP_{8.5} به‌ترتیب ۳/۴۲ و ۳/۴۱ گرم‌برمگاژول بود؛ که نشان‌دهنده افزایش کارایی تشعشع می‌باشد و این افزایش در دوره ۲۰۲۵ نسبت به دوره ۲۰۵۵ بیشتر خود را نشان داده است. RUE در دماهای کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از ۳۹ درجه سانتی‌گراد صفر می‌شود و با افزایش دما از ۲ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد به تدریج افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر دما تا ۳۰/۵ درجه سانتی‌گراد RUE به کندی کاهش می‌یابد؛ و افزایش دما بین ۳۰/۵ تا ۳۹ درجه

جدول ۲- تغییرات کارایی استفاده از تشعشع و طول دوره رسیدگی در دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ نسبت به دوره پایه تحت دو سناریوی انتشار
Table 2. Changes in radiation use efficiency and maturity duration in the period of 2025 and 2055 compared to the base period under two emission scenarios

ایستگاه station	تغییرات تشعشع (g.mj)(۲۰۲۵) change radiation (2025)		تغییرات تشعشع (g.mj)(۲۰۵۵) change radiation (2055)		تغییرات طول دوره رسیدگی (۲۰۲۵)(Day) changes maturity duration (2025)		تغییرات طول دوره رسیدگی (۲۰۵۵)(Day) changes maturity duration (2055)	
	RCP _{4.5}	RCP _{8.5}	RCP _{4.5}	RCP _{8.5}	RCP _{4.5}	RCP _{8.5}	RCP _{4.5}	RCP _{8.5}
Ahvaz اهواز	-0.4	-0.3	-7.0	-10.0	4.5	6.7	12	17.2
Bam بم	5.0	6.8	2.5	1.7	-11.2	-12.9	-18	-18.7
Behbahan بهبهان	-0.1	0.9	-6.0	-8.8	-0.1	0.1	2	3.3
Bilesowar بیله سوار	4.2	6.2	3.6	5.5	-16.5	-18.1	-28	-33.7
Dehloran دهلران	0.2	1.0	-5.3	-7.4	3.6	4.9	12	15.3
Dezful دزفول	1.4	2.3	3.6	-6.5	-3.2	-3.6	-1	3.7
Dogonbadan دوگنبدان	1.1	2.0	-5.0	-9.3	-8.0	-8.9	-9	-3.3
Eslamabadgharb اسلام آباد	3.6	5.7	4.0	6.2	-21.1	-23.2	-30	-35.8
Hormozgan هرمزگان	3.0	4.4	1.3	2.9	-9.0	-11.0	-13	-11.7
Darab داراب	1.7	3.1	3.1	4.7	-12.1	-14.0	-15	-13.0
Jahrom جهرم	8.2	9.8	8.5	8.6	-24.6	-18.1	-32	-26.9
Kahnuj کهنوج	0.2	1.1	-5.4	-7.6	-0.4	-0.5	3	4.1
Karaj کرج	2.8	4.8	2.6	4.5	-29.9	-31.6	-42	-49.0
Kermanshah کرمانشاه	4.8	6.9	5.0	7.0	-18.4	-21.6	-30	-38.7
Khash خاش	5.7	7.8	4.9	6.6	-18.1	-20.3	-32	-34.5
Marvast مروست	3.8	5.7	2.8	4.1	-25.1	-26.7	-39	-43.9
Masjedsoleyman مسجدسلیمان	-1.0	0.1	-7.1	-9.4	5.4	6.2	12	14.0
Jiroft جیرفت	0.6	1.9	4.2	6.0	-5.9	-7.1	-3	2.5
Nahavand نهاوند	4.8	6.8	4.9	7.3	-13.8	-15.5	-23	-30.0
Oshnavieh اشنویه	7.5	9.6	7.2	9.3	-15.8	-20.1	-33	-41.1
Sarpolzahab سرپل ذهاب	3.7	5.1	0.5	-3.0	-14.5	-16.5	-22	-24.0
Shiraz شیراز	4.7	6.8	4.2	5.3	-18.7	-20.5	-30	-34.4
Zaraghan زرقان	9.9	12.0	9.3	10.9	-14.1	-16.9	-34	-42.6

سناریوی RCP_{8.5} بدلیل افزایش بیشتر دما که سبب تسریع تامین نیاز دمایی گیاه می شود (۲۳)، بیشتر کاهش یافت، که این نتایج با یافته های زونفا (۲۰۲۰) مطابقت داشت (۳۱). دامنه تغییرات طول دوره رسیدگی ذرت در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5} به ترتیب بین +۵ تا -۲۹ روز و +۶ تا -۲۶

طول دوره رسیدگی: دامنه تغییرات طول دوره رسیدگی گیاه ذرت در ایستگاه های کشت بین ۱۱۹ تا ۱۷۱ روز و با میانگین ۱۳۸ روز در دوره پایه تخمین زده شد. بر اساس نتایج، طول دوره رسیدگی در هر دو دوره و تحت هر دو سناریو بدلیل افزایش دما کاهش پیدا کرد (۷)؛ که در دوره ۲۰۵۵ و تحت

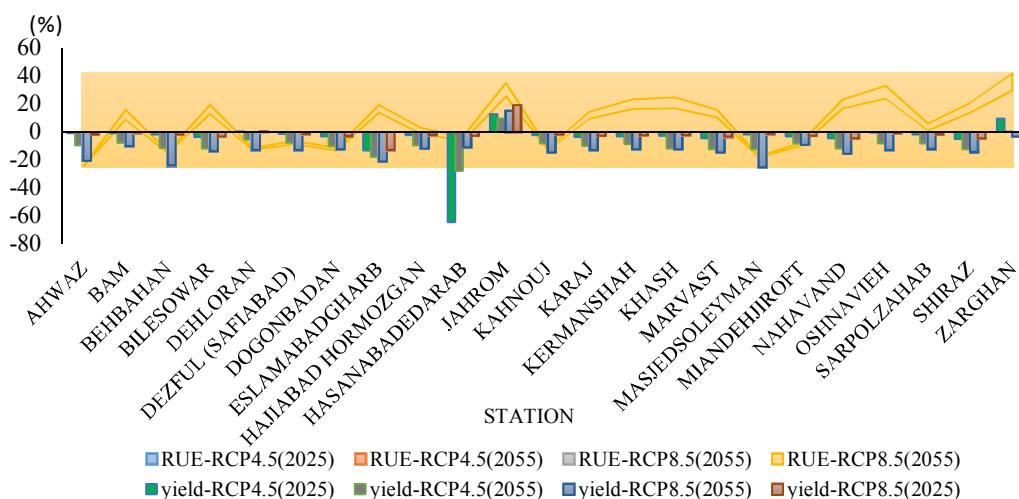
روز و در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوی $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ بین ۱۲+ تا ۴۲- روز و ۱۷+ تا ۴۹- روز متغیر بود. هرچه میزان دما افزایش پیدا کند؛ تکمیل شدن مراحل فنولوژیک تسریع پیدا می‌کند و سرعت پرشدن دانه بیشتر می‌شود که در نتیجه آن طول دوره رسیدگی کاهش پیدا می‌کند (۳۱). رابطه بین افزایش دما و طول دوره رشد نشان داد که به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما، طول دوره رشد در حدود ۸/۵ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به تفاوت بین تعداد روزهای کاشت تا رسیدگی در مناطق مختلف، این کاهش در حدود ۱۹ روز به ازای هر ۱ درجه افزایش دما در طی دوره رشد خواهد بود (۲)؛ این موضوع بیان کننده این مطلب است که افزایش دمای میانگین با دوره رشد گیاه رابطه منفی داشته و با افزایش دما، طول دوره رشد کاهش می‌یابد (۱۳). نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که دما در شرایط آینده در هر دو دوره و تحت هر دو سناریوی انتشار $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ افزایش پیدا کرده است؛ که این افزایش در دوره ۲۰۵۵ با شدت بیشتری رخ داده است؛ و از آنجایی که طول دوره رسیدگی با دما ارتباط منفی دارد و افزایش بیشتر دما، سبب تسریع تامین نیاز دمایی گیاه می‌شود؛ متعاقباً در دوره ۲۰۵۵ سناریوی انتشار $RCP_{8.5}$ تعداد روزهای طول دوره رسیدگی با شدت بیشتری کاهش می‌یابد (۳۱). طول دوره رسیدگی در ایستگاه‌های اهواز، دهلران، بهبهان و مسجدسلیمان که میزان کارایی استفاده از تشعشع در آنها کاهش پیدا کرده است؛ افزایش پیدا کرده است (جدول ۲). با کاهش میزان کارایی استفاده از تشعشع بدلیل فرصت بیشتر برای تولید زیست توده طول دوره رسیدگی افزایش پیدا می‌کند (۳۰)؛ و علی‌رغم افزایش دما طول دوره رشد در ایستگاه‌های مذکور افزایش می‌یابد.

عملکرد: بر اساس نتایج، میانگین عملکرد ذرت در دوره پایه به میزان ۱۶۸۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد و میزان عملکرد در دوره ۲۰۲۵، تحت سناریوی $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به ترتیب ۴ و ۲ درصد و در دوره ۲۰۵۵، تحت سناریوی $RCP_{4.5}$ و $RCP_{8.5}$ به ترتیب ۱۰ و ۱۳ درصد نسبت به دوره پایه کاهش یافت. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد گیاه ذرت نسبت به دوره پایه در در ایستگاه‌های جهرم و زرقان به علت افزایش میزان تشعشع، افزایش و در سایر ایستگاه‌ها به علت افزایش دما و در پی آن کاهش طول دوره رسیدگی، کاهش پیدا کرد؛ که این کاهش در دوره ۲۰۵۵ به علت بالاتر رفتن دما با شدت بیشتری نشان داده شد (شکل ۵). با افزایش میزان تشعشع دریافتی، میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک نیز بیشتر می‌شود که منجر به افزایش عملکرد می‌شود (۳۱). در سایر ایستگاه‌ها نیز با توجه به افزایش دما و کاهش طول دوره رسیدگی، سرعت پر شدن دانه بیشتر شده که سبب کاهش میزان ماده خشک تجمع یافته گشته و عملکرد کاهش پیدا می‌کند (۱۵). با افزایش دما و بیشتر از حدی معین روزنه‌های گیاهان در اثر ایجاد مقاومت روزنه‌ای بسته شده و عملکرد کاهش می‌یابد (۷). البته افزایش دما می‌تواند عملکرد گیاهان را کاهش یا افزایش دهد (۲).

کاهش عملکرد در اثر افزایش دما می‌تواند به دلیل افزایش سرعت رسیدگی و به دنبال آن کاهش تجمع ماده خشک در طول پر شدن دانه باشد (۲). بر اساس نتایج این تحقیق، طول دوره رسیدگی در تمام ایستگاه‌های تحت بررسی کاهش پیدا کرده است. کاهش طول دوره رشد به دلیل جذب کمتر میزان تشعشع و دی‌اکسیدکربن تجمع یافته کاهش پیدا می‌کند؛ که سبب کاهش تولید میزان زیست توده و تولید ماده خشک می‌شود (۱۷)؛ و با توجه به اینکه کارایی مصرف تشعشع با عملکرد رابطه مستقیم دارد؛

باروری دی اکسیدکربن خنثی شود (۳). علاوه بر کاهش طول دوره رشد که سبب کاهش عملکرد در مناطق تحت بررسی در این تحقیق شده است؛ کاهش میزان تبخیر و تعرق نیز بدلیل ارتباط مستقیمی که با عملکرد گیاه دارد (۳۴) سبب کاهش عملکرد شده است.

با کاهش یا افزایش کارایی مصرف تشعشع عملکرد گیاه نیز کاهش یا افزایش پیدا می کند و سبب کاهش عملکرد ذرت می شود (۳۰). درحالی که با توجه به محدود بودن طول فصل رشد، افزایش دما در عرض های بالاتر، می تواند بر عملکرد گیاه زراعی اثر مثبت داشته باشد. نتایج برخی از مطالعات نشان می دهند که اثرات منفی گرمایش اقلیمی ممکن است با اثرات



شکل ۵- تغییرات عملکرد و تشعشع در دوره های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ تحت سناریوی RCP_{4.5} و RCP_{8.5}

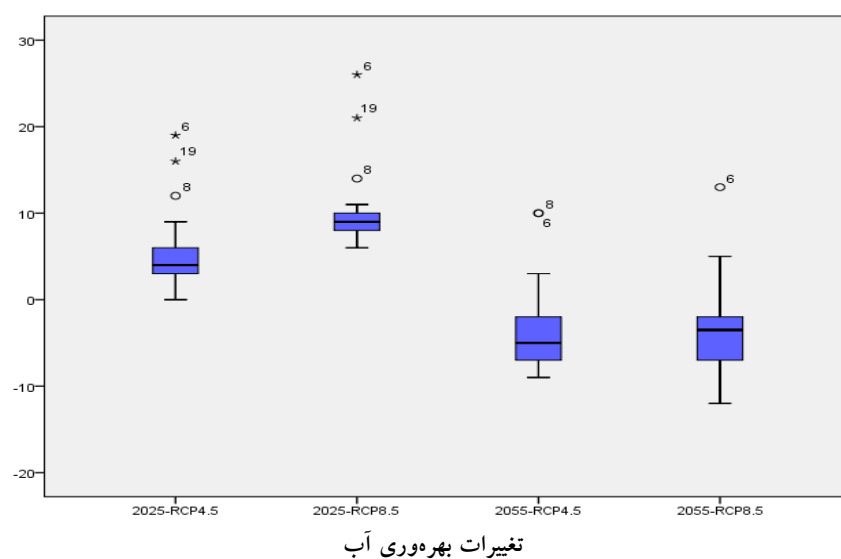
Figure 5. Yield and radiation changes in periods of 2025 and 2055 under RCP_{4.5} and RCP_{8.5} scenarios

میزان تبخیر و تعرق نیز در هر دو دوره تحت هردو سناریو کاهش پیدا کرده است؛ و این کاهش از آنجایی که بهره وری آب حاصل تقسیم عملکرد گیاه بر مبنای وزن خشک بر تبخیر و تعرق است (۳۴)؛ بنابراین کاهش یا افزایش آن به تأثیر عوامل محیطی بر این دو عامل بستگی دارد؛ و با توجه به نتایج دو مدل HadGEM و IPSL که حاکی از کاهش میزان تبخیر و تعرق تحت هر دو سناریوی انتشار RCP_{4.5} و RCP_{8.5} می باشد؛ میزان عملکرد هم در دوره ۲۰۵۵ بدلیل افزایش بیشتر دما و کوتاه شدن بیشتر طول دوره رسیدگی نسبت به دوره ۲۰۲۵ با شدت بیشتری کاهش می یابد؛ میزان بهره وری آب نیز در دوره ۲۰۲۵ افزایش و در دوره ۲۰۵۵ کاهش نشان داده است. میزان تبخیر و تعرق دوره های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ و تحت

بهره وری آب: نتایج این مطالعه نشان داد میانگین بهره وری آب در ذرت در مناطق اصلی کشت آن در دوره پایه، ۱/۵۷ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب تخمین زده شد و بین ۱/۲ تا ۲/۲ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب متغیر بود. طبق پیش بینی ها میزان بهره وری آب تحت دو سناریو انتشار در دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ به ترتیب افزایش و کاهش نشان داد (شکل ۶). میانگین میزان بهره وری آب در کشور، در دوره ۲۰۲۵ تحت سناریوهای RCP_{4.5} و RCP_{8.5} به ترتیب به میزان ۱/۲ و ۲/۳ درصد نسبت به شرایط پایه افزایش خواهد داشت؛ درحالی که در دوره ۲۰۵۵ تحت سناریوی RCP_{4.5} بین ۱/۱۵ تا ۲/۱۰ درصد و تحت سناریوی RCP_{8.5} بین ۱/۱۰ تا ۲/۱۰ درصد کاهش نسبت به شرایط پایه پیش بینی شد.

دوره رشد و نیز طول دوره پر شدن دانه را در گیاهان کاهش خواهد داد. البته کاهش عملکرد ذرت تا حد زیادی تابع میزان افزایش دما در طی دوره پر شدن دانه خواهد بود. افزایش مقاومت روزنه‌ای نیز با کاهش تعرق موجب افزایش کارایی مصرف آب و در نتیجه عملکرد بالاتر در گیاهان زراعی خواهد شد. البته باید در نظر داشت این اثرات مثبت تابع شرایط رشد گیاهان زراعی می‌باشد (۲).

هر دو سناریوی انتشار کاهش پیدا کرده است؛ که این کاهش تحت سناریو انتشار $RCP_{8.5}$ با شدت بیشتری نشان داده شد. از آنجایی که چندین پارامتر اقلیمی مانند دما، بارش و ساعت آفتابی از جمله عوامل اصلی مؤثر بر نیاز آبی گیاهان می‌باشند، بنابراین هر گونه تغییر در این پارامترهای اقلیمی در اثر تغییرات اقلیمی بر تبخیر و تعرق و در نتیجه کارایی مصرف آب گیاه نیز تأثیرگذار خواهد بود (۶). افزایش دما، طول کل



شکل ۶- میزان تغییرات بهره‌وری آب دوره ۲۰۲۵ و ۲۰۵۵ و تحت سناریوی انتشار $RCP_{8.5}$ و $RCP_{4.5}$

Figure 6. Water productivity changes in 2025 and 2055 and under $RCP_{4.5}$ and $RCP_{8.5}$ emission scenarios

انتشار می‌باشد؛ که این کاهش نیز در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره ۲۰۲۵ مشهودتر است؛ نتایج شبیه‌سازی حاکی از افزایش میزان بهره‌وری آب در دوره ۲۰۲۵ و کاهش آن در دوره ۲۰۵۵ بود که علت آن مسیر فتوسنتزی C_4 تحت جریان CO_2 اشباع شده بود؛ که تأثیر مثبت افزایش CO_2 بر عملکرد گیاهان C_4 در شرایط آب و هوایی آینده ممکن است به بهبود کارایی مصرف آب و در نتیجه افزایش عملکرد منجر شود؛ البته افزایش CO_2 تا حدی معین سبب افزایش عملکرد می‌شود و بیشتر از آن حد سبب کاهش عملکرد می‌شود (۳۱)؛ و از آنجایی که بهره‌وری آب

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داده است که میانگین دما تحت هر دو سناریو انتشار نسبت به پایه افزایش داشته است و این افزایش در دوره ۲۰۵۵ نسبت به دوره ۲۰۲۵ بیشتر بوده است. طول دوره رسیدگی نیز در هر دو دوره و تحت هر دو سناریو در تمام ایستگاه‌ها بجز اهواز، دهلران، بهبهان و مسجدسلیمان که بدلیل کاهش کارایی تشعشع، افزایش پیدا کرده بود؛ کاهش یافت؛ که این کاهش در دوره ۲۰۵۵ شدت بیشتری یافت. خروجی مدل‌ها بیانگر کاهش تبخیر و تعرق و کاهش عملکرد در بیشتر ایستگاه‌ها تحت هر دو سناریوی

حاصل تقسیم عملکرد بر مبنای وزن خشک بر تبخیر و تعرق است؛ بنابراین کاهش یا افزایش آن به تأثیر مستقیم تغییر اقلیم بر این دو عامل بستگی دارد؛ و با توجه به نتایج که بیان‌کننده کاهش میزان تبخیر و تعرق می‌باشد؛ انتظار می‌رود میزان بهره‌وری آب نیز در دوره ۲۰۲۵ افزایش و در دوره ۲۰۵۵ کاهش نشان دهد. برای مقابله با مشکلات ناشی از تغییر اقلیم باید در جستجوی راه کارهایی مانند استفاده از ارقام مقاوم، تغییر مدیریت‌های کشاورزی مانند تغییر تاریخ کشت، نوع سیستم آبیاری و یا تولید ارقام جدید بود تا بتوان کاهش عملکرد ناشی از افزایش دما و تغییر اقلیم را تا حدی جبران کرد.

References

1. Shirdeli, A., Lotfi, F., Khani Temeliyeh, Z., Fakhimi, P., & Salehi, M. (2019). The effect of climate change on sorghum yield in Abhar Plain. *Journal of Environmental Water Engineering*, 4(4), 344–356.
2. Koocheki, A., & Nasiri Mahallati, M. (2016). Climate change effects on agricultural production of Iran: Predicting productivity of field crops and adaptation strategies. *Journal of Field Crops Research*, 14(1), 1–20. [In Persian]
3. Falahi, E., Shokri, A., Jokari, S., & Ghazi, S. (2017). The ways of food security provided and its position in passive defense. *Lorestan University of Medical Sciences Journal*, 19(3), 41–48. [In Persian]
4. Khalili, A., & Soltani, A. (2010). Assessment of climate change during the last fifty years in Urmia. *Journal of Water and Soil*, 16(4), 141–151.
5. Naveenkumar, K., Sen, D., & Khanna, V. (2020). Effect of maize production in a changing climate: Its impacts, adaptation, and mitigation strategies through breeding. *Journal of Oncology and Medicine*, 2(4), 186–201.
6. Cassman, K. G. (2022). Climate change impacts and adaptation strategies for crops in West Africa. *Environmental Research*, 17(5), 1–15.
7. Caroline, C., Ummenhofer, C. C., Xu, H., Twine, T. E., Girvetz, E. H., McCarthy, H. R., Chhetri, N., & Nicholas, K. A. (2015). How climate change affects extremes in maize and wheat yield in two cropping regions. *Journal of Climate*, 28(1), 4653–4687.
8. Babel, M., & Turyatunga, E. (2015). Evaluation of climate change impacts and adaptation measures for maize cultivation in the Western Ganda agro-ecological zone. *Climatic Change*, 119(1), 239–254.
9. Saddique, Q., Imran Khan, M., Gaiser, T., Waqas, M. M., Ahmad, I., Chong, L., & Cai, H. (2020). Effects of elevated air temperature and CO₂ on maize production and water use efficiency under future climate change scenarios in Shaanxi Province, China. *Atmosphere*, 11(8), 122–138.
10. FAO. (2019). *FAOSTAT database*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
11. Zartash, F., Mukhtar, A., Mubshar, H., Ghulam, A., Sami, U., Shakeel, A., Niaz, A., Muhammad, A., Ghulam, S., Ehsan, U., Pakeeza, I., & Sajjad, H. (2020). The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Scientific Reports*, 40(3), 1–22.
12. Ahmadi, H., Fallah Ghalhari, G. A., & Baaghideh, M. (2019). Projection of climate change impacts on seasonal precipitation in Iranian cold regions based on radiative forcing scenarios (RCP). *Journal of Earth and Space Physics*, 45(1), 177–196. (In Persian)
13. Wu, J., Zhang, J. G., Zhang, M., Xing, L., Han, S., Shen, C., & Kong, F. (2021). Impact of climate change on maize yield in China from 1979 to 2016. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(1), 289–299.
14. Dubey, R., Pathak, H., Chakrabarti, B., Singh, D., & Gupta, R. C. (2020). Impact of terminal heat stress on wheat yield in India and options for adaptation. *Agricultural Systems*, 181(2), 10–22.
15. Soltani, A., Alimagham, S. M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R. S., Zahed, M., Arabameri, R.,

- Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S., Vadez, V., van Ittersum, M. K., & Sinclair, T. R. (2020). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*, 182(1), 1–7.
16. Dadrasi, A., & Torabi, B. (2016). Predicting the growth and yield of corn in Hamedan, Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 47(4), 595–610. [In Persian]
 17. Nehbandani, A., Soltani, A., Rahemi-Karizaki, A., Dadrasi, A., & Nourbakhsh, F. (2021). Determination of soybean yield gap and potential production in Iran using modeling approach and GIS. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), 395–407.
 18. Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., Salmani, F., Nehbandani, A., Nourbakhsh, F., & Ullah, Z. (2022). Evaluation of water productivity in the main areas of potato cultivation in Iran. *Nature Mental Health*, 48(1), 7–22.
 19. Liu, S., Huang, S., Xie, Y., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., Zhang, Y., & Wei, X. (2019). Spatial-temporal changes of maximum and minimum temperatures in the Wei River Basin, China. *Journal of Cleaner Production*, 204(5), 1–11.
 20. Ministry of Agricultural Jihad. (2017). *Agricultural statistics (2001–2015)*. Retrieved from <https://www.maj.ir>
 21. Nehbandani, A., Soltani, A., Taghdisi, R., Dadrasi, A., & Alimaghani, M. (2020). Assessing HC27 soil database for modeling plant production. *International Journal of Plant Production*, 14(1), 679–687.
 22. Fayazi, H. (2019). *Evaluation of production and yield gap of grain and forage corn in present and future climate conditions of Iran* (Doctoral dissertation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources). [In Persian]
 23. IPCC. (2013). *Summary for policymakers*. In T. F. Stocker et al. (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis* (pp. 3–29). Cambridge University Press.
 24. Rahban, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2021). Using SSM-iCrop model to predict phenology, yield, and water productivity of canola (*Brassica napus* L.) in Iran. *Journal of Agroecology*, 13(1), 157–177. [In Persian]
 25. Hoogenboom, G., Porter, C. H., Lizaso, J. I., Koo, J., Asseng, S., & Jones, J. W. (2019). Review on decision support system for agrotechnology transfer model. *Journal of Intelligent Information Systems*, 10(4), 173–216.
 26. Zhang, Y., Xiaolei, Q., Tingwei, Y., Zhiyi, L., Bing, L., & Leilei, L. (2021). The impact of global warming on winter wheat production in China. *Agronomy*, 11(2), 1–12.
 27. Nehbandani, A., Soltani, A., Taghdisi, R., Dadrasi, A., & Alimaghani, M. (2020). Assessing HC27 soil database for modeling plant production. *International Journal of Plant Production*, 14(1), 679–687.
 28. Haro, A., Mendza, A., Caldeón, O., Julin, A., & Estrada, F. (2021). Evaluation of risk and possible adaptation to climate change under a socio-ecological system approach. *Frontiers in Climate*, 10(3), 1–16.
 29. Soltani, A. (2008). *Mathematical Modeling in Agricultural Plants*. Mashhad University Press.
 30. 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.
 31. Zunfu, L., Feifei, L., & Guoquan, L. (2020). Adjusting sowing date and cultivar shift improve maize adaptation to climate change in China. *Climatic Change*, 25(1), 87–106.
 32. Meza, F., & Silva, D. (2008). Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*, 98(1), 21–30.
 33. Ashrafi, S., Sadrghaen, H., & Baghani, J. (2015). Effects of irrigation levels, plant densities, and planting patterns on water use efficiency of corn (KSC700). *Journal of Environmental Water Engineering*, 28(6), 1183–1190.
 34. Saeidi, R., & Sotoodehnia, A. (2021). Yield reaction to evapotranspiration of maize under water stress at different growth stages. *Journal of Soil and Water Research*, 52(3), 611–620.