

ارزیابی عملکرد و نیاز آبی ذرت دانه‌ای در واکنش به تغییر تاریخ کشت تحت شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه

حامد عینی نرگسه^۱، سجاد رحیمی مقدم^۲، رضا دیهیم فرد^{۳*}، علی مختصی بیدگلی^۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

* مسئول مکاتبه: Email: deihim@sbu.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی عملکرد و نیاز آبی ذرت دانه‌ای در تاریخ کشت‌های مختلف تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سه شهرستان استان کرمانشاه (کرمانشاه، کنگاور و اسلام‌آباد غرب)، از مدل APSIM و برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نیز از روش ارایه شده توسط AgMIP استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از دلایل افت شدید عملکرد می‌توان به افزایش دما در طول فصل رشد (۱۵/۷ درصد)، کاهش طول فصل رشد (۴/۷ درصد) و احتمالاً برخورد زمان گل‌دهی با وقوع دماهای آستانه اشاره کرد. نیاز آبی ذرت نیز در همه مناطق، سناریوها و تاریخ‌های کاشت به طور میانگین ۱۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که از دلایل این امر می‌توان به افزایش دما (۱۵/۷ درصد) اشاره نمود. در تاریخ کاشت مرسوم (۱۵ اردیبهشت) در مناطق مورد بررسی، نیاز آبی ذرت تحت هر دو سناریو ۱۲ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد، در حالی که در تاریخ کاشت‌های زودتر و دیرتر نیاز آبی ذرت به ترتیب ۱۵ و ۷ درصد افزایش یافت. با توجه به بارش جمعی بیشتر در طول فصل رشد (۵۴/۲۷ میلی‌متر) در کشت‌های زودهنگام (۱۶ فروردین و ۳۱ فروردین) و همچنین افت عملکرد کمتر در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت (۵۶ درصد)، می‌توان از کشت زودهنگام به عنوان راهکار سازگاری برای استفاده از بارش‌های فصلی و دستیابی به عملکرد قابل قبول استفاده کرد. نتایج نشان داد در بین مناطق مورد مطالعه، مناسب‌ترین منطقه کشت ذرت از نظر عملکرد دانه و نیاز آبیاری اسلام‌آباد غرب (۴۲۲۱/۸ کیلوگرم در هکتار) و کرمانشاه (۱۴۸۹/۲ میلی‌متر) بودند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر، تعرق، سناریوی اقلیمی، عملکرد دانه، مدل رشدی، AgMIP

Evaluation of Yield and Crop Water Requirement in Response to Change of Planting Date under Climate Change Conditions in Kermanshah Province

Hamed Eyni Nargeseh¹, Sajad Rahimi Moghaddam², Reza Deihimfard^{3,*}, Ali Mokhtassi-Bidgoli⁴

Received: January 20, 2017 Accepted: July 24, 2017

1- PhD Student, Dept. of Agronomy, Faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- PhD Student, Dept. of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran.

3- Assist. Prof., Dept. of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran.

4- Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agronomy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

* Corresponding Author Email: deihim@sbu.ac.ir

Abstract

APSIM model was used to investigate yield and water requirement of maize in different planting dates under two emission scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) at the three locations of Kermanshah province (Kermanshah, Kangavar and Eslamabad-Gharb). Climatic parameters were predicted using the AgMIP methodology. Results of this study indicated that in the future, average maize grain yield will be reduced in all locations, scenarios and planting dates (70 percent) compare to the baseline. Reasons for yield loss are increasing temperature over growing season (15.7%), decreasing length of growing season (4.7%) and is likely to concurrency time of flowering with extreme temperature. In addition, maize water requirement, on average, will be increased 14 percent is comparison to the baseline in all locations, scenarios and planting dates mainly due to rising temperature. In conventional planting date (4 May), crop water requirement of maize on average increased 12 percent under two emission scenarios compared with the baseline while on earlier and later planting dates, crop water requirement increased 15 and 7 percent, respectively. Due to the amount of higher cumulative rainfall during the growing season (54.27) on earlier planting dates (4 and 19 April) as well as lower yield loss compare to other planting dates (56 percent), earlier planting dates can be explained as adaptation strategy in order to achieve appropriate yield. The results also showed that among study locations, Eslamabad-Gharb and Kermanshah were the most suitable areas in terms of grain yield (4221.8 Kg.ha⁻¹) and water requirement (1489.2 mm), respectively.

Keywords: Crop Model, Climate Scenario, Evapotranspiration, Grain Yield, AgMIP

متوسط ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد در هر دهه بوده است. به گزارش هیئت بین‌الدولتی تغییر اقلیم^۱، انتظار می‌رود که میانگین دمای جهانی در طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۱۰۰ در

مقدمه

میانگین دمای کره زمین در قرن گذشته افزایش یافته و روند گرمایشی در ۵۰ سال گذشته به طور

همکاران ۲۰۱۱، الوی و همکاران ۲۰۱۳، اودا و همکاران ۲۰۱۵، یانگ و همکاران (۲۰۱۶). یافته‌های رحمانی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که در دشت بیرجند تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، نیاز آبی گندم و جو به دلیل کاشت زودتر گندم و جو و کوتاه شدن طول دوره رشد آن‌ها به ترتیب ۱۹/۵ درصد تا ۲۲/۵ درصد کمتر خواهد شد. اودا و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی نیاز آبی ذرت و گندم را تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال دلتای نیل بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که نیاز آبی گندم و ذرت در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۲-۳ و ۱۵-۱۰ درصد افزایش می‌یابد و در نهایت باعث کاهش سطح زیر کشت این محصولات در منطقه مورد بررسی می‌شود. افزایش نیاز آبی در این مطالعه، افزایش دما، تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه بیان شده است. نتایج بررسی‌های نورلدین و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که نیاز آبی گندم در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه سه درصد افزایش خواهد یافت. در پژوهشی دیگر کاراندیش و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که نیاز آبی ذرت در سواحل دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم آینده به دلیل افزایش ۱/۶۴ تا ۲۸/۴ درصد در تبخیر-تعرق مرجع، ۱۰/۶ تا ۱۵/۳ درصد افزایش خواهد یافت. آن‌ها بیان کردند که تغییر اقلیم و افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم منجر به تغییر تاریخ کشت ذرت شده و ۱۰ تا ۲۶ روز در مقایسه با شرایط فعلی زودتر کشت خواهد شد.

استان کرمانشاه یکی از مناطقی است که ذرت به‌طور گسترده در آن کشت و کار می‌شود، به‌طوری‌که ۸/۳۹ درصد از کل سطح زیر کشت و ۹/۸۹ درصد تولید این محصول به این استان مربوط است و مقام سوم را از لحاظ سطح زیر کشت و تولید به خود اختصاص داده است (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۱۵). با توجه به این که نیاز آبی ذرت در طول فصل رشد بالا بوده و سطح زیر کشت این گیاه در استان کرمانشاه قابل توجه است، مقدار زیادی از آب کشاورزی استان برای تولید محصول

مقایسه با دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ تحت سناریوی RCP4.5، ۱/۸±۰/۵ و تحت سناریوی RCP8.5، ۳/۷±۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (وانگ و همکاران ۲۰۱۵). افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم اثرات مختلفی بر گیاهان زراعی دارد که از جمله می‌توان به تغییر در مقدار تبخیر-تعرق در طول فصل رشد (یانگ و همکاران ۲۰۱۶ و رحمانی و همکاران ۲۰۱۶)، نیاز آبی (نهبندانی و سلطانی ۲۰۱۶ و رحمانی و همکاران ۲۰۱۶)، کارایی مصرف آب (وانگ و همکاران ۲۰۱۱ و یانگ و همکاران ۲۰۱۶)، عملکرد دانه (تائو و ژانگ ۲۰۱۰ و الوی و همکاران ۲۰۱۳) و طول فصل رشد (گوهری و همکاران 2013 و مرادی و همکاران ۲۰۱۳) اشاره کرد.

یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم در آینده، تأثیر آن بر مصرف آب کشاورزی است که می‌تواند مدیریت منابع آب را با چالش‌های جدی روبرو سازد (علیزاده و همکاران ۲۰۱۰). از طرفی ایران کشوری با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است و به دلیل ساختارهای محیط زیستی خاصی که دارد نسبت به تغییرات محیطی آسیب‌پذیر است. بنابراین به نظر می‌رسد که وقوع تغییرات اقلیمی در این مناطق اثرات قابل توجهی بر سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (عیشی رضایی و بنایان ۲۰۱۲). یکی از راه‌های کم هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی، رهیافت مدل‌سازی و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است (منشادی و همکاران ۲۰۱۰). با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی قابل پیش‌بینی بوده و می‌توان از طریق گزینه‌های کاهش اثرات منفی مانند تنظیم تاریخ‌های کشت، تغییر الگوهای کشت، کشت ارقام مقاوم به گرما و ترویج گیاهان زراعی جدید (گیاهان فراموش شده و کمتر استفاده شده)، اثرات منفی تغییر اقلیم بر کشاورزی را کاهش داد (تینگم و ریوینگتون ۲۰۰۹). تاکنون مطالعات بسیاری در مناطق مختلف دنیا در زمینه مصرف آب و نیاز آبی محصولات کشاورزی مختلف به انجام رسیده است (وانگ و

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تعدادی از شهرستان‌های استان کرمانشاه (کرمانشاه، کنگاور و اسلام‌آباد غرب) انجام شد (شکل ۱). معیارهایی که برای انتخاب این مناطق در نظر گرفته شد شامل سطح زیرکشت ذرت، تنوع آب و هوایی و پراکنش مناسب در سطح استان کرمانشاه بود. استان کرمانشاه با مساحتی برابر ۲۶۶۴۰ کیلومتر مربع (۱/۵ درصد از مساحت کل کشور)، در غرب ایران واقع شده است که از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود. این استان از نظر تولید ذرت دانه‌ای در کشور رده دوم را دارا بوده و ۳۳۹۰۷ هکتار از زمین‌های زراعی آن به کشت این گیاه اختصاص دارد (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۱۵).

مصرف می‌شود. از طرفی با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای مواد غذایی و همچنین وضعیت کشور در منابع آب، اهمیت آب به‌عنوان مهم‌ترین عنصر در کشاورزی از دیدگاه تعیین الگوی کشت و افزایش بهره‌وری در مصرف آن، بیش‌ازپیش نمایان می‌شود (رحیمی و سلحشور ۲۰۱۴). با توجه به اهمیت تغییر اقلیم و اثرات آن بر کشاورزی، بنابراین بررسی جنبه‌های مختلف این پدیده، بخصوص تأثیر آن بر نیاز آبی محصولات استراتژیک، ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا تحقیق حاضر به‌منظور شبیه‌سازی رشد و برآورد نیاز آبی ذرت دانه‌ای، و همچنین تعیین بهترین تاریخ کشت با هدف دستیابی به بالاترین عملکرد و کاهش نیاز آبی این محصول در استان کرمانشاه انجام شد.



شکل ۱- شهرستان‌های مورد بررسی در استان کرمانشاه

Tmax: متوسط بلند مدت دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، Tmin: متوسط بلند مدت دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)، Lat: عرض جغرافیایی، Long: طول جغرافیایی، Elev: ارتفاع (متر).

مدل‌های گردش عمومی، از روش ریزمقیاس نمایی ارائه شده توسط AgMIP^۲ (اگمپ a و b ۲۰۱۳) برای این منظور استفاده شد. سناریوهای اقلیمی در این روش بر اساس داده‌های حاصل از دوره پایه (شامل تابش، بارش، دمای کمینه و بیشینه) تحلیل می‌شوند. این سناریوها با استفاده از روش سناریوی دلتا و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی که در AgMIP ارائه شده است تولید شدند (ویلی و همکاران ۲۰۰۴، اگمپ a و b ۲۰۱۳، روان و همکاران ۲۰۱۳؛ آرایا و همکاران ۲۰۱۵). در روش مذکور با استفاده از داده‌های بلند مدت اقلیمی و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارش (ویلی و همکاران ۲۰۰۴، روان و همکاران ۲۰۱۳)، داده‌های روزانه اقلیمی تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۹ به دست آمدند. لازم به ذکر است که میانگین دما تحت سناریوی RCP4.5 تا اواسط قرن جاری به سرعت افزایش یافته و پس از آن، این سرعت افزایشی، کند می‌شود درحالی‌که در سناریوی RCP8.5 افزایش دما از ۲۰۸۰ به بعد سریع‌تر از دوره ۲۰۳۵-۲۰۸۰ می‌باشد. توضیحات تکمیلی در مورد این سناریوها توسط موس و همکاران (۲۰۱۰) و واین (۲۰۱۳) ارائه شده است.

پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی روزانه در مناطق مورد مطالعه، به‌منظور شبیه‌سازی رشد ذرت و تعیین نیاز آبی این گیاه در شرایط تغییر اقلیم در تاریخ-های مختلف کشت از مدل فرآیندگرایی APSIM^۳ استفاده شد. این مدل توسط واحد تحقیقات APSRU ساخته شده است (کیتینگ و همکاران ۲۰۰۳) و ورودی‌های مورد نیاز آن شامل اطلاعات آب و هوایی، خاکی، ضرایب ژنتیکی و اطلاعات مدیریتی هستند. در این تحقیق با توجه به این‌که رشد ذرت در شرایط پتانسیل شبیه‌سازی شده بود، از اطلاعات آب و هوایی (بارش، تابش، دماهای کمینه و

به‌منظور پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده مناطق مورد بررسی و شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای این مناطق، ابتدا داده‌های مورد نیاز شامل تابش، بارش، دمای کمینه و بیشینه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پس از جمع‌آوری و وارد کردن داده‌های بلندمدت روزانه در صفحات اکسل، به دلیل وجود داده‌های پرت و گم شده در ایستگاه‌های هواشناسی، با استفاده از برنامه 'WeatherMan (هوگنوم و همکاران ۲۰۰۳) این داده‌ها اصلاح و بازسازی شدند تا برای پیش‌بینی اقلیم آینده استان کرمانشاه آماده گردند. با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی تابش ثبت نمی‌شود، با در دست داشتن تعداد ساعات آفتابی که در این ایستگاه‌ها ثبت شده بود، مقدار تابش روزانه در هر ایستگاه با استفاده از روش آنگستروم تخمین زده شد (پرسکات ۱۹۴۰). در نهایت به‌منظور حصول اطمینان از کامل بودن و صحت داده‌های اصلاح شده، از نرم‌افزار Tamet استفاده گردید (وال ۱۹۷۷).

پس از آماده‌سازی داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی، این اطلاعات برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مناطق مورد بررسی استفاده گردید. لازم به ذکر است که دوره پایه در مناطق مورد بررسی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که روند انتشار گازهای گلخانه‌ای از قطعیت کافی برخوردار نمی‌باشد، برای مطالعات تغییر اقلیم از سناریوهای مختلف انتشار با طول دوره‌های متفاوت استفاده می‌شود. در این مطالعه نیز برای بررسی روند تغییر اقلیم و اثرات این پدیده بر رشد و نیاز آبی ذرت در استان کرمانشاه، از مدل گردش عمومی HadGEM2 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۳۹-۲۰۶۹ استفاده شد. اما به دلیل بزرگ مقیاس بودن و روزانه نبودن داده‌های حاصل از

^۲ The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project

^۳ Agricultural Production Systems Simulator

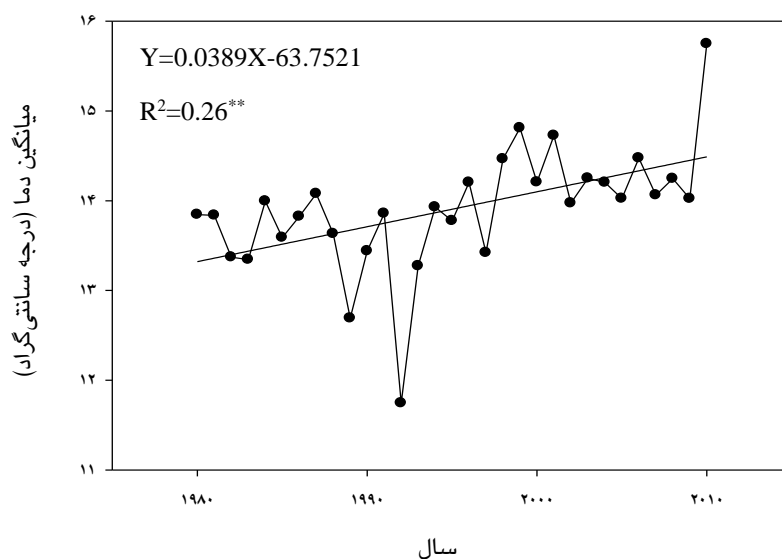
^۱ Weather Data Manager

نتایج و بحث

متغیرهای اقلیمی در شرایط تغییر اقلیم

بررسی روند ۳۰ ساله تغییرات دما (۱۹۸۰-۲۰۱۰) در استان کرمانشاه نشان داد که با گذشت زمان میانگین دما روند افزایشی داشته است (شکل ۲) به طوری که سالانه حدود ۰/۰۳ درجه سانتی‌گراد به میانگین دما افزوده شده است که این امر نشانگر وقوع پدیده تغییر اقلیم و افزایش دما در این استان است. افزایش دما در آینده در سایر تحقیقات نیز تایید شده است (عینی نرگسه و همکاران ۲۰۱۶، کاراندیش و همکاران ۲۰۱۷). کمترین میانگین دما در دوره پایه در سال ۱۹۹۲ (۱۱/۷۴) درجه سانتی‌گراد) و بیشترین میانگین دما در سال ۲۰۱۰ (۱۵/۷۵) درجه سانتی‌گراد) ثبت شده است. نتایج پیش‌بینی اقلیم آینده استان کرمانشاه نشان داد که به‌طور میانگین تحت سناریوی RCP4.5، بارش، دماهای کمینه و بیشینه در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۱، ۲۵ و ۷ درصد افزایش خواهد یافت. درصد تغییرات متغیرهای مذکور تحت سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه بیشتر بود، به طوری که بارش، دماهای کمینه و بیشینه به ترتیب ۲، ۵۷ و ۱۵ درصد افزایش نشان دادند.

بیشینه)، ضرایب ژنتیکی رقم سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان رقم غالب منطقه و اطلاعات مدیریتی (شامل تاریخ‌های مختلف کشت و تراکم) استفاده شد. ضرایب ژنتیکی رقم مذکور پیش‌تر توسط رحیمی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۶) در مدل APSIM پارامترسنجی، واسنجی و اعتبارسنجی شده است. همچنین اطلاعات مدیریتی شامل تاریخ‌های مختلف کشت (۱۶ و ۳۱ فروردین، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت، ۱۵ خرداد) از طریق مکاتبه شخصی با مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه تهیه شد. سایر عملیات مدیریتی شامل تراکم (هفت بوته در متر مربع)، خاکورزی (به روش مرسوم)، فاصله بین ردیف (۷۵ سانتی‌متر) و غیره در تمامی شبیه‌سازی‌ها ثابت در نظر گرفته شد. پس از اجرای مدل، خروجی‌های مورد نظر در دوره پایه و آینده در مناطق مورد بررسی تجزیه و تحلیل شدند. برای تجزیه‌های آماری و رسم گرافها از نرم‌افزارهای SAS، Excel، و SigmaPlot استفاده شد.



شکل ۲- روند تغییرات میانگین دمای سالانه در استان کرمانشاه

طول فصل رشد، عملکرد و نیاز آبی ذرت در تاریخ‌های مختلف کشت در دوره پایه

پس از پیش‌بینی اقلیم آینده در مناطق مورد بررسی، طول مدت رشد، عملکرد و نیاز آبی ذرت دانه‌ای در دوره پایه با استفاده از مدل APSIM شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در تاریخ کشت مرسوم (۱۵ اردیبهشت) بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در شهرستان‌های کنگاور (۱۴۳۹۹/۷ کیلوگرم در هکتار) و کرمانشاه (۷۷۴۱/۲ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد (جدول ۱). از دلایل بیشتر بودن عملکرد دانه در شهرستان

کنگاور می‌توان به مناسب‌تر بودن دما در طول فصل رشد (۲۱/۵۲ درجه سانتی‌گراد) و طولانی بودن فصل رشد (۱۵۲/۹ روز) اشاره کرد. در این منطقه نیاز آبی ذرت در طول فصل رشد برابر ۱۳۶۷/۱ میلی‌متر به دست آمد. از طرفی در شهرستان کرمانشاه به دلیل میانگین دمای بالاتر در طول فصل رشد (۲۴/۲۵ درجه سانتی‌گراد) و طول فصل رشد کمتر (۱۳۹/۷ روز)، عملکرد دانه کمتری در مقایسه با مناطق دیگر حاصل شد. در این منطقه نیاز آبی ذرت در طول فصل رشد ۱۳۵۲/۵۶ میلی‌متر شبیه‌سازی شد.

جدول ۱- عملکرد دانه، میانگین دما، طول فصل رشد، نیاز آبی و بارش جمعی در طول فصل رشد ذرت در تاریخ‌های مختلف کشت در دوره پایه

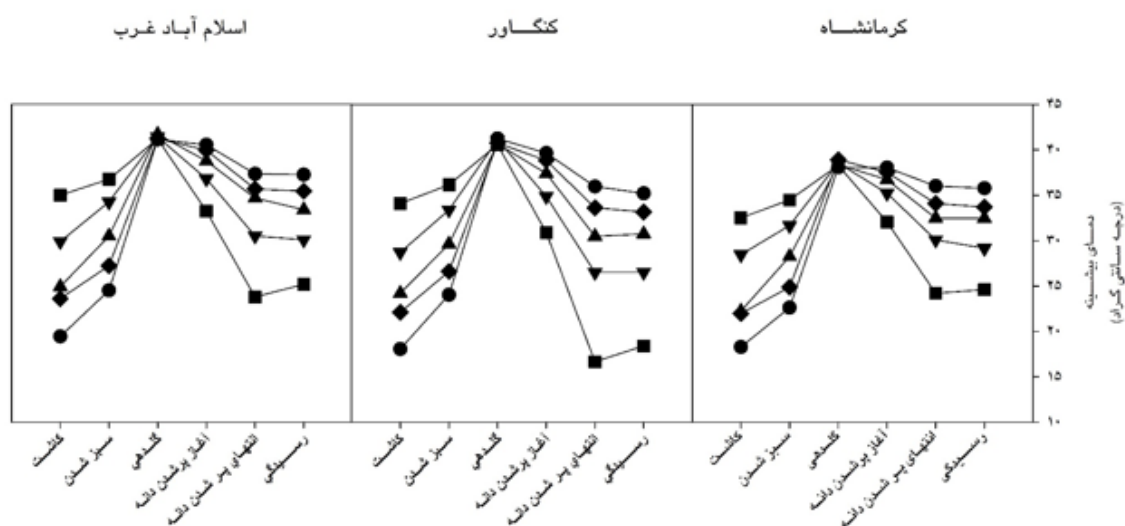
منطقه	تاریخ کشت	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	دما (درجه سانتی‌گراد)	طول فصل رشد (روز)	نیاز آبی (میلی‌متر)	بارش در طول فصل رشد (میلی‌متر)
کرمانشاه	۱۶ فروردین	۸۹۹۹/۵	۲۲/۰۹	۱۴۹/۹	۱۳۴۸/۴	۶۷/۲۸
	۳۱ فروردین	۶۹۳۹/۱	۲۳/۴	۱۴۵/۷	۱۳۷۶/۳	۴۳/۶۴
	۱۵ اردیبهشت	۷۷۴۱/۲	۲۴/۲۵	۱۳۹/۷	۱۳۵۲/۵	۱۶/۷۱
	۳۰ اردیبهشت	۷۹۶۱/۶	۲۴/۶۹	۱۳۶/۶	۱۳۰۵/۶	۸/۰۳
	۱۵ خرداد	۸۱۲۰/۳	۲۴/۱۸	۱۴۰/۱	۱۲۲۱/۷	۲۰/۶۳
کنگاور	۱۶ فروردین	۱۱۸۴۵/۵	۱۹/۷۶	۱۵۶/۶	۱۳۵۱	۷۳/۲۴
	۳۱ فروردین	۱۳۴۶۰/۷	۲۰/۷۸	۱۵۳/۶	۱۳۵۹	۴۷/۸۳
	۱۵ اردیبهشت	۱۴۳۹۹/۷	۲۱/۵۲	۱۵۲/۹	۱۳۶۷/۱	۱۸/۸۵
	۳۰ اردیبهشت	۱۳۵۷۸/۹	۲۱/۴۹	۱۵۲/۶	۱۳۰۴/۳	۱۸/۰۶
	۱۵ خرداد	۱۳۸۴۷/۴	۲۰/۷۶	۱۵۵/۴	۱۱۹۴/۸	۵۶/۱۱
اسلام آبادغرب	۱۶ فروردین	۱۱۷۰۲/۶	۱۹/۹	۱۴۴/۷	۱۲۴۵	۶۲/۹۹
	۳۱ فروردین	۱۲۵۵۱/۴	۲۱/۵۴	۱۴۸/۴	۱۳۴۷/۳	۴۱/۲
	۱۵ اردیبهشت	۱۲۷۶۵/۸	۲۲/۴۹	۱۴۶/۵	۱۳۵۲/۱	۱۸/۸۲
	۳۰ اردیبهشت	۱۲۸۳۸/۸	۲۲/۶۹	۱۴۴/۸	۱۲۹۹/۸	۱۲/۱۸
	۱۵ خرداد	۱۳۵۵۷/۳	۲۲/۰۹	۱۴۸/۹	۱۲۱۱/۹	۳۴/۳۵

سه منطقه مورد بررسی تغییر قابل توجهی نشان دادند. به طور مثال در شهرستان کرمانشاه بیشترین عملکرد

بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها، با تغییر تاریخ کشت، عملکرد دانه و سایر صفات مورد بررسی در هر

دمای طول فصل رشد در تاریخ کشت ۳۱ فروردین در مقایسه با تاریخ کشت مرسوم منطقه (۱۵ اردیبهشت) کمتر (۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد) و طول فصل رشد شش روز بیشتر بود، اما به دلیل برخورد زمان گلدهی با اوج گرما در طول فصل رشد و عقیم شدن دانه‌های گرده کمترین عملکرد دانه در این تاریخ کشت به دست آمد. بیشترین نیاز آبی ذرت (۱۳۷۶/۳ میلی‌متر) در کرمانشاه نیز به تاریخ کشت ۳۱ فروردین مربوط بود (شکل ۳).

دانه (۸۹۹۹/۵ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کشت ۱۶ فروردین و کمترین عملکرد دانه (۶۹۳۹/۱ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کشت ۳۱ فروردین به دست آمد. در این منطقه در تاریخ کشت ۱۶ فروردین میانگین دمای فصل رشد مناسب‌تر (۲۲/۰۹ درجه سانتی‌گراد) و طول فصل رشد بیشتر بود (۱۴۹/۹ روز) و نیاز آبی ذرت ۱۳۸۴/۴ میلی‌متر شبیه سازی شد، در نتیجه بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کشت مزبور به دست آمد. با این‌که میانگین



شکل ۳. بیشینه دما در طول فصل رشد ذرت در تاریخ‌های مختلف کشت (●: ۱۶ فروردین، ◆: ۳۱ فروردین، ▲: ۱۵ اردیبهشت، ▼: ۳۰ اردیبهشت، ■: ۱۵ خرداد)، در سه شهر استان کرمانشاه.

تحقیقات دیگر دمای بالای ۳۵ درجه سانتی‌گراد را علت کاهش زنده مانی گرده و تشکیل دانه عنوان نموده‌اند (هررو و جانسون ۱۹۸۰، شاپر و همکاران ۱۹۸۷). به گزارش مرا و همکاران (۲۰۰۶) افزایش دما بیشترین تأثیر را بر مرحله گل‌دهی داشته و از طریق کاهش درصد دوره تلقیح گل، باعث کاهش عملکرد ذرت می‌شود. تحقیقات توجو سولر و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که در تاریخ‌های کشت دیرتر (۱ فوریه تا ۱۵ آوریل) عملکرد

حساس‌ترین مرحله رشدی ذرت به دماهای بالا، مرحله گلدهی است و طول دوره گلدهی توسط دماهای بالا کاهش می‌یابد (مرادی و همکاران ۲۰۱۳). همزمانی گلدهی گیاه با دماهای بالا باعث کاهش زنده مانی گرده‌ها و دانه‌بندی می‌شود (لوبل و همکاران ۲۰۱۵، سینگ و همکاران ۲۰۱۵، سینگ و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات نشان می‌دهد که در دماهای بالای ۳۸ درجه سانتی‌گراد، به علت کاهش باروری گرده و طول لوله گرده تشکیل دانه کاهش می‌یابد (داپیوس و داماس ۱۹۹۰، استون ۲۰۰۱). در

سناریوی مورد بررسی در همه تاریخ‌های کشت، بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه نسبت به دوره پایه به ترتیب به شهرستان‌های کرمانشاه (۸۱ درصد) و اسلام‌آباد غرب (۶۶ درصد) مربوط بود (جدول ۲).

در شهرستان کرمانشاه کاهش ۸۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به دوره پایه، احتمالاً به دلیل برخورد دوره گل‌دهی با زمان اوج گرما در طول فصل رشد (شکل ۴) و عقیم شدن دانه‌های گرده بود به طوری که این امر باعث شد در ۷۳ درصد از سال‌ها عملکردی تشکیل نشود (داده‌های تشکیل نشدن عملکرد در سال‌ها ارائه نشده است). شهرستان اسلام‌آباد غرب نیز در مقایسه با دوره پایه کاهش عملکرد داشت. احتمالاً به دلیل همزمانی مرحله گل‌دهی (شکل ۴) با اوج گرما و عقیم شدن دانه‌های گرده، در ۳۹ درصد از سال‌ها عملکردی تشکیل نشد. ولی از آنجایی که میانگین دمای طول فصل رشد در این منطقه (۲۵/۲۸ درجه سانتی‌گراد) نسبت به کرمانشاه (۲۶/۹۳ درجه سانتی‌گراد) کمتر بود، افت عملکرد کمتر بوده است (جدول ۲).

از طرفی با توجه به افزایش میانگین دما (۱۵ درصد در مقایسه با دوره پایه) در طول فصل رشد در همه مناطق مورد مطالعه، به طور میانگین در همه تاریخ‌های کشت و سناریوهای مورد بررسی نیاز آبی ذرت ۱۴ درصد در مقایسه با دوره پایه افزایش یافت (جدول ۲). بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها، بیشترین و کمترین افزایش نیاز آبی به ترتیب در شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب (۱۶ درصد) و کرمانشاه (۱۲ درصد) مشاهده شد. در شهرستان اسلام‌آباد غرب افزایش ۱۶ درصدی دما (میانگین همه تاریخ‌های کشت و سناریوها) در نهایت باعث شد که نیاز آبی ذرت در شرایط تغییر اقلیم در این منطقه نسبت به دیگر مناطق افزایش بیشتری نشان دهد (۱۶ درصد). در شهرستان کرمانشاه نیز با افزایش ۱۳ درصدی میانگین دما در طول فصل رشد (میانگین همه

دانه ذرت در شرایط دیم و آبی به ترتیب ۵۵ و ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت.

در شهرستان کنگاور عملکرد دانه ذرت در کشت‌های زودهنگام (۱۶ و ۳۱ فروردین) و تأخیری (۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد) کمتر از تاریخ کشت مرسوم (۱۵ اردیبهشت) منطقه بود، به طوری که با تغییر تاریخ کشت، کمترین عملکرد دانه در تاریخ کشت ۱۶ فروردین (۱۱۸۴۵/۵) کیلوگرم در هکتار) و بیشترین مقدار در تاریخ کشت ۱۵ خرداد (۱۳۸۴۷/۴) کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. نیاز آبی ذرت نیز در این منطقه با تغییر تاریخ کشت کاهش یافت و کمترین نیاز آبی (۱۱۹۴/۸ میلی‌متر) در تاریخ کشت ۱۵ خرداد مشاهده شد. دلیل کاهش نیاز آبی در تاریخ‌های کشت زودتر و دیرتر به کاهش دمای طول فصل رشد مربوط بود که در نهایت باعث افت نیاز آبی ذرت شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که در اغلب موارد نیاز آبی ذرت در دوره پایه با تغییر تاریخ کشت (به جز تاریخ کشت ۳۱ فروردین در کرمانشاه) کاهش یافت. به طور میانگین، نیاز آبی ذرت در همه مناطق و تاریخ‌های کشت مورد مطالعه، در کشت‌های زودهنگام (۱۶ و ۳۱ فروردین) در مقایسه با تاریخ کشت مرسوم (۱۵ اردیبهشت) ۱/۴۳ درصد و در کشت‌های تأخیری (۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد) ۷/۴۳ درصد کاهش نشان داد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در شهرستان‌های کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب می‌توان پیشنهاد کرد که در دوره پایه، تاریخ‌های کشت زودتر به دلیل عملکرد دانه بیشتر و همچنین نیاز آبی کمتر مناسب بوده‌اند. اما در شهرستان کنگاور تغییر تاریخ کشت به دلیل افت عملکرد مناسب نمی‌باشد.

اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبی ذرت

مقایسه بین مناطق مورد بررسی

نتایج مندرج در جدول ۲ حاکی از کاهش عملکرد دانه ذرت در آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی در شرایط تغییر اقلیم تحت هر دو

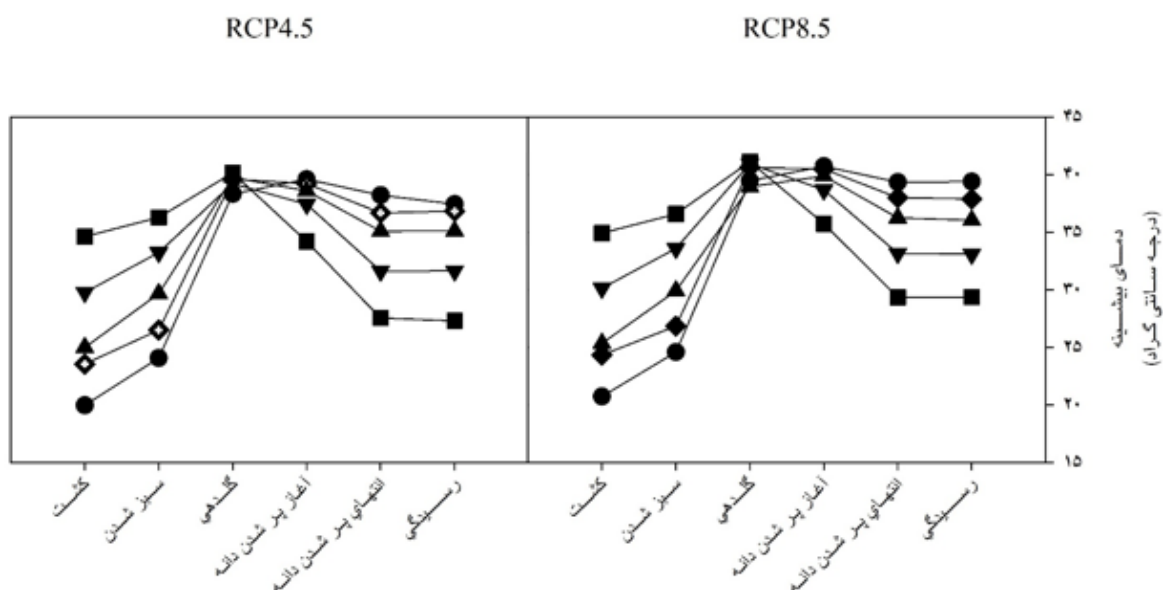
۳ تا ۴ درصد در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت. در یک بررسی دیگر در مصر نیاز آبی گندم تحت شرایط تغییر اقلیم ۳ درصد افزایش نشان داد (نورلدین و همکاران ۲۰۱۳). اودا و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که نیاز آبی ذرت در منطقه شمالی دلتای نیل در شرایط تغییر اقلیم آینده ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر خواهد شد.

تاریخ کشت‌ها و سناریوها) کمترین درصد تغییرات در مقایسه با سایر مناطق مشاهده شد و در نهایت باعث افزایش ۱۲ درصدی نیاز آبی ذرت شد. اودا و همکاران (۲۰۱۰) و ایبراهیم و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعات جداگانه‌ای در مصر نشان دادند که در شرایط تغییر اقلیم (دوره ۲۰۳۰) تحت سناریوهای A2 و B2، نیاز آبی گندم

جدول ۲- عملکرد دانه، میانگین دما در طول فصل رشد، طول فصل رشد و نیاز آبی ذرت در تاریخ‌های مختلف کشت تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

اسلام‌آباد غرب		کنگاور		کرمانشاه		تاریخ کشت	
RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5		
۲۴/۰۱	۲۳/۱۸	۲۳/۰۵	۲۲/۶۶	۲۵/۱۴	۲۴/۷۹	۱۶ فروردین	
۲۵/۲۱	۲۴/۳	۲۴/۵۷	۲۳/۶۵	۲۶/۷۳	۲۶/۰۵	۳۱ فروردین	
۲۶/۱۹	۲۵/۲۴	۲۵/۴۷	۲۴/۴۸	۲۷/۷۹	۲۷/۰۳	۱۵ اردیبهشت	دما (درجه سانتی‌گراد)
۲۶/۸۲	۲۵/۸	۲۵/۹۶	۲۴/۸۴	۲۸/۴۴	۲۷/۶۷	۳۰ اردیبهشت	
۲۶/۶۳	۲۵/۴۴	۲۵/۶۹	۲۴/۴	۲۸/۲۶	۲۷/۳۶	۱۵ خرداد	
۱۴۹/۶۱	۱۵۱/۷	۱۵۲/۱۶	۱۵۴	۱۴۴/۶۷	۱۴۷/۸۷	۱۶ فروردین	
۱۴۲/۸	۱۴۴/۳۵	۱۴۵/۲۵	۱۴۶/۹۳	۱۴۲/۲۲	۱۴۱/۰۹	۳۱ فروردین	
۱۳۷/۲۵	۱۳۸/۵۸	۱۳۹/۷۴	۱۴۱/۳۵	۱۳۷/۲۲	۱۳۶	۱۵ اردیبهشت	طول فصل رشد (روز)
۱۳۳/۸۷	۱۳۵/۲۵	۱۳۶/۷۴	۱۳۸/۷۴	۱۳۴/۰۶	۱۳۲/۶۴	۳۰ اردیبهشت	
۱۳۴/۷۴	۱۳۷/۱۲	۱۳۸/۱۶	۱۴۱/۵۴	۱۳۴/۶۷	۱۳۴/۰۹	۱۵ خرداد	
۶۳۹۴	۹۳۰۷/۳	۵۰۰۳/۱	۷۶۲۸/۴	۲۸۳۲	۴۲۷۸	۱۶ فروردین	
۴۱۶۲/۷	۶۶۳۳/۱	۱۹۸۳/۱	۵۱۰۶	۹۹۸/۶	۲۴۰۸/۶	۳۱ فروردین	
۱۶۱۷/۵	۴۹۵۴/۳	۱۷۵۶/۳	۵۵۶۲/۷	-	۲۳۴۲	۱۵ اردیبهشت	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
۱۲۰۸/۲	۴۳۰۵/۱	۲۹۲۹/۴	۵۶۰۳/۷	۶۷۲/۳	۱۹۹۶/۲	۳۰ اردیبهشت	
۸۰۳	۲۸۳۲/۹	۲۲۱۶/۲	۴۴۶۱/۸	۲۳۹/۶	۱۴۱۲/۴	۱۵ خرداد	
۱۵۶۳/۱	۱۵۴۶/۱	۱۵۶۳/۸	۱۵۳۹/۵	۱۵۲۹/۷	۱۴۸۹	۱۶ فروردین	
۱۵۶۲/۱	۱۵۳۲/۶	۱۵۶۰/۳	۱۵۲۷/۱	۱۵۷۹/۶	۱۴۸۱/۴	۳۱ فروردین	
۱۵۵۲/۴	۱۵۰۳/۸	۱۵۵۳/۵	۱۵۰۵/۸	۱۶۰۰/۲	۱۴۷۱/۴	۱۵ اردیبهشت	نیاز آبی (میلی‌متر)
۱۵۰۹/۹	۱۴۵۲/۹	۱۵۱۰/۳	۱۴۵۴	۱۵۵۸	۱۳۹۹	۳۰ اردیبهشت	
۱۴۳۱	۱۳۷۳/۸	۱۴۱۷/۴	۱۳۶۲/۴	۱۴۵۹/۴	۱۳۲۵/۸	۱۵ خرداد	

* در تاریخ ۱۵ اردیبهشت در کرمانشاه دانه تشکیل نشد و عملکرد دانه برابر با صفر بود.



شکل ۴. بیشینه دما در طول فصل رشد ذرت در تاریخ‌های مختلف کشت (●: ۱۶ فروردین، ◆: ۳۱ فروردین، ▲: ۱۵ اردیبهشت، ▼: ۳۰ اردیبهشت، ■: ۱۵ خرداد)، تحت سناریوهای مختلف انتشار در استان کرمانشاه.

منطقه به دلیل افزایش بیش از حد دما، و همزمانی گلدهی گیاه با این دما، دانه‌های گرده عقیم شده و دانه‌ای تشکیل نشده است.

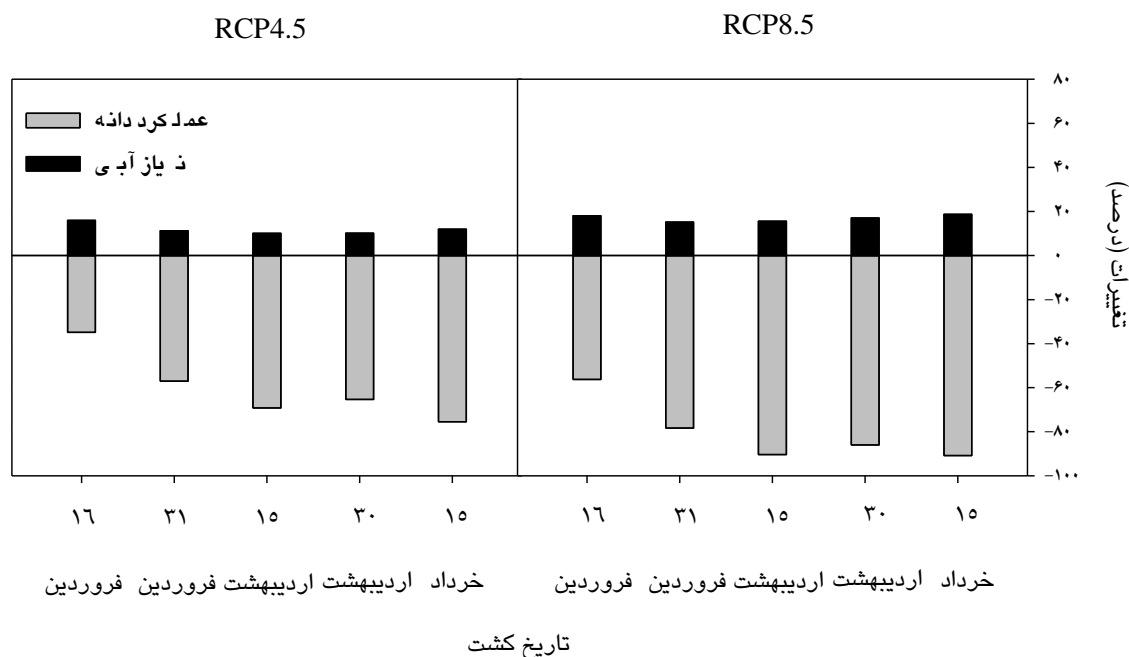
نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که نیاز آبی ذرت تحت هر دو سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت (جدول ۲). افزایش نیاز آبی تحت سناریوی RCP8.5 (۱۶ درصد) بیشتر از سناریوی RCP4.5 (۱۱ درصد) بود که دلیل آن افزایش دمای بیشتر تحت سناریوی RCP8.5 (۱۷ درصد در مقایسه با دوره پایه) در مقایسه با سناریوی RCP4.5 (۱۳ درصد در مقایسه با دوره پایه) بود که در نهایت باعث افزایش نیاز آبی شد.

تاثیر تاریخ کشت به عنوان یک راهکار سازگاری با تغییر اقلیم در استان کرمانشاه

نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه ذرت استان کرمانشاه در همه تاریخ‌های کشت مورد بررسی تحت هر دو سناریوی انتشار (RCP8.5 و RCP4.5) در مقایسه با دوره پایه کاهش اما نیاز آبی به دلیل بالارفتن دما افزایش یافت (شکل ۵).

مقایسه سناریوهای مورد بررسی

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، افت عملکرد در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 بود. به‌طور میانگین در همه مناطق و تاریخ‌های کشت مورد مطالعه، عملکرد دانه تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 به ترتیب ۶۰ و ۸۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). دلیل افت عملکرد بیشتر در سناریوی RCP8.5 افزایش بیشتر دما (۱۷ درصد در سناریوی RCP8.5 و ۱۳ درصد در سناریوی RCP4.5) و طول فصل رشد کمتر (۵ درصد در سناریوی RCP8.5 و ۴ درصد در سناریوی RCP4.5) می‌باشد. لازم به ذکر است که تحت سناریوی RCP4.5، در ۳۹ درصد از سال‌ها و در سناریوی RCP8.5 در ۶۳ درصد از سال‌ها دانه‌ای تشکیل نشد. دلیل این امر افزایش بیشتر میانگین دما در سناریوی RCP8.5 (۱۷ درصد) نسبت به RCP4.5 (۱۳ درصد) و احتمالاً برخورد دوره گل‌دهی گیاه با اوج گرما در طول فصل رشد می‌باشد (شکل ۴). از نکات قابل توجه در سناریوی RCP8.5 عدم تشکیل دانه در تاریخ کشت مرسوم منطقه در شهرستان کرمانشاه بود. در این



شکل ۵- درصد تغییرات عملکرد دانه و نیاز آبی ذرت نسبت به دوره پایه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در تاریخ‌های مختلف کشت

زودهنگام موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. به گزارش استرالیا لو و همکاران (2009)، جلو انداختن تاریخ کشت را می‌توان به عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم در نظر گرفت.

نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل APSIM نشان داد که در تاریخ کشت مرسوم مناطق (۱۵ اردیبهشت) نیاز آبی ذرت در مقایسه با دوره پایه تحت هر دو سناریو ۱۲ درصد افزایش یافت، در حالی که در کشت‌های دیرهنگام (۱۵ خرداد) و زود هنگام (۱۶ فروردین)، نیاز آبی نسبت به دوره پایه به ترتیب ۱۵ و ۱۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵) که با توجه به افت عملکرد کمتر در تاریخ کشت زود هنگام (۴۵ درصد)، می‌توان این تاریخ کشت را مناسب‌تر از سایر تاریخ کشت‌ها دانست (جدول ۲). یکی دیگر از دلایلی که می‌توان تاریخ کشت زودتر را به عنوان تاریخ کشت برتر از لحاظ نیاز آبی و عملکرد دانه معرفی کرد، بارش فصلی بیشتر در این زمان در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت است (جدول ۳) که می‌تواند نقش یک تا دو آبیاری تکمیلی را

تحت هر دو سناریو در همه مناطق مورد بررسی، بیشترین و کمترین کاهش عملکرد در تاریخ کشت ۱۵ خرداد (۸۳ درصد کاهش عملکرد) و ۱۶ فروردین (۴۵ درصد کاهش عملکرد) به دست آمد (جدول ۲). در کشت دیرهنگام (۱۵ خرداد) و زودهنگام (۱۶ فروردین) به ترتیب در ۶۷ و ۲۶ درصد از سال‌ها دانه‌ای تشکیل نشد. در تاریخ کشت مرسوم منطقه (۱۵ اردیبهشت) نیز عملکرد دانه در مقایسه با دوره پایه به‌طور میانگین در همه مناطق و سناریوها ۷۹ درصد کاهش نشان داد و در ۵۹ درصد از سال‌ها دانه تشکیل نشد. در مطالعات مختلف از تغییر تاریخ کشت به عنوان راهکار سازگاری برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم استفاده شده است (لائوکس و همکاران 2010؛ لشکری و همکاران 2012؛ مرادی و همکاران 2013). آبراه و سویج (2006) در مطالعه‌ای در جنوب آفریقا اثر بالقوه تغییر اقلیم را بر عملکرد ذرت مورد بررسی قرار داده و اظهار داشتند که تغییر تاریخ کشت در شرایط فعلی تأثیر محسوسی بر عملکرد دانه محصول ندارد، اما در صورت تغییر اقلیم، کشت

۳). لذا بخشی از نیاز آبی ذرت از طریق بارندگی در طول فصل تامین شده و در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت، افت عملکرد کمتری خواهد داشت.

برای گیاه داشته باشد. به طور میانگین در همه مناطق و سناریوها، بیشترین مقدار بارش‌های فصلی در تاریخ کشت ۱۶ فروردین مشاهده شد (۶۶/۶۵ میلی‌متر) (جدول

جدول ۳- بارش تجمعی (میلی‌متر) در طول فصل رشد تحت شرایط تغییر اقلیم در شهرهای مختلف استان کرمانشاه

کرمانشاه		کنگاور		اسلام آباد غرب		تاریخ کشت
RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	
۶۶/۶	۶۴/۷	۶۷/۸	۶۸/۸	۶۶/۵	۶۵/۵	۱۶ فروردین
۴۱/۹	۴۲/۸	۴۱/۷	۴۴/۹	۳۸/۶	۴۱/۵	۳۱ فروردین
۱۶/۲	۱۶/۳	۱۴	۱۷	۱۴/۸	۱۸/۹	۱۵ اردیبهشت
۶/۸	۵/۲	۶/۴	۷/۴	۷/۵	۷/۹	۳۰ اردیبهشت
۱۲	۷/۶	۱۷/۷	۱۲/۵	۱۳/۵	۹/۱	۱۵ خرداد

می‌توان به افزایش دما (۱۵/۷ درصد)، کاهش طول فصل رشد (۴/۷ درصد) و احتمالاً همزمانی دوره گل‌دهی گیاه با زمان اوج گرما در طول فصل اشاره کرد که مورد آخر باعث عقیمی دانه‌های گرده و عدم تشکیل دانه و عملکرد می‌شود. همچنین نیاز آبی ذرت در همه مناطق، سناریوها و تاریخ‌های کشت به‌طور میانگین ۱۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت که دلیل این امر را می‌توان به افزایش دما (۱۵/۷ درصد) نسبت داد. بهترین تاریخ کشت در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 از لحاظ عملکرد دانه به کشت زود هنگام (۱۶ فروردین) مربوط بود که به ترتیب با افت عملکرد ۳۴ و ۵۶ درصدی همراه بودند. با این حال در تاریخ‌های کاشت زودتر و دیرتر از زمان مرسوم منطقه، نیاز آبی ذرت به ترتیب ۱۵ و ۷ درصد افزایش یافت. با توجه به مقدار بارش تجمعی بیشتر (۵۴/۲۷ میلی‌متر) در تاریخ‌های کشت زودتر (۱۶ فروردین و ۳۱ فروردین) و همچنین افت عملکرد کمتر در مقایسه با دیگر تاریخ‌های کشت (۵۶ درصد)، می‌توان از کشت زود هنگام به عنوان راهکار سازگاری به منظور استفاده از بارش‌های فصلی و دستیابی به عملکرد قابل قبول در هر سه منطقه مورد بررسی نام برد.

در تاریخ کشت ۱۶ فروردین، میانگین دما در طول فصل رشد نسبت به دوره پایه ۱۶ درصد افزایش یافت و در نهایت نیاز آبی ذرت ۱۷ درصد افزایش نشان داد. لازم به ذکر است که طول فصل رشد در این تاریخ کشت تغییر محسوسی نداشت و در مقایسه با دوره پایه در همه مناطق و سناریوها، ۰/۲۷ درصد کاهش یافت. در کشت دیر هنگام (۱۵ خرداد)، میانگین دما در طول فصل رشد به‌طور میانگین در همه مناطق و سناریوها ۱۷ درصد نسبت به دوره پایه افزایش یافت که در نهایت به افزایش ۱۵ درصدی نیاز آبی ذرت در این تاریخ کشت منجر شد. در این تاریخ کشت به‌طور میانگین طول فصل رشد نسبت به دوره پایه ۷ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری نهایی

در این مطالعه به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد دانه و نیاز آبی ذرت، تاریخ‌های کشت مختلفی به عنوان گزینه سازگاری در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه ذرت در همه مناطق، سناریوها و تاریخ‌های کشت در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت (۷۰ درصد). از دلایل افت شدید عملکرد

منابع مورد استفاده

- Abraha MG, and Savage MJ, 2006. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115:150–160.
- AgMIP. 2013a. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R in Windows. AgMIP, URL: <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf>
- AgMIP. 2013b. The coordinated climate-crop modeling project c3mp: an initiative of the agricultural model intercomparison and improvement project. C3MP Protocols and Procedures. AgMIP, URL:<http://research.agmip.org/download/attachments/1998899/C3MP+Protocols+v2.pdf>
- Alizadeh A, Sayari N, Hesami Kermani MR, Bannayan Aval M, and Farid Hossaini A, 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of kashaf rood basin. *Journal of Water and Soil*, 24(4): 815-835. (In Persian).
- Araya A, Hoogenboom G, Luedeling E, Hadgu KM, Kisekka I, and Martorano LG, 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214: 252-265.
- Dupuis I, and Dumas C, 1990. Influence of temperature stress on in vitro fertilisation and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) reproductive tissues. *Plant Physiology*, 94: 665–670.
- Eyni Nargeseh H, Deihimfard R, Soufizadeh S, Haghghat M, and Nouri O, 2016. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Electronic Journal of Crop Production*, 8(4): 203-224. (In Persian).
- Eyshi Rezaie E, and Bannayan M, 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Applications*, 19: 346– 354.
- Gohari A, Eslamian S, Abedi- Koupaei J, Massah Bavani A, and Wang D, and Madani K, 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of the Total Environment*, 442: 405-419.
- Herrero MP, and Johnson RR, 1980. High temperature stress and pollen viability in maize. *Crop Science*, 20: 796–800.
- Hoogenboom G, Jones JW, Porter CH, Wilkens PW, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, and Tsuji GY, (Editors). 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Ibrahim M, Ouda S, Taha A, El Afandi G, and Eid SM, 2012. Water management for wheat grown in sandy soil under climate change conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrient*, 12(2): 195-210.
- Karandish F, Kalanaki M, and Saberali SF, 2017. Projected impacts of global warming on cropping calendar and water requirement of maize in a humid climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63 (1): 1-13.
- Keating BA, Carberry PS, Hammer GL, Probert ME, Robertson MJ, Holzworth D, Huth NI, Hargreaves JNG, Meinke H, Hochman Z, McLean G, Verburg K, Snow V, Dimes JP, Silburn M, Wang E, Brown S, Bristow KL, Asseng S, Chapman S, McCown RL, Freebairn DM, and Smith C.J, 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18: 267– 288.
- Lashkari A, Alizadeh A, Eyshi Rezaei E, and Bannayan M, 2012. Mitigation of climate change impacts on Maize productivity in northeast of Iran: a simulation study. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 17:1-16.
- Laux P, Jachel G, Tingem RM, and Kunstmann H, 2010. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon–A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 1258-1271.

- Lobell DB, Hammer GL, Chenu K, Zheng, B, McLean G, and Chapman SC, 2015. The shifting influence of drought and heat stress for crops in northeast Australia. *Global Change Biology*. 21: 4115-4127.
- Luo Q, Bellotti W, Williams M, and Wang E, 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129:261-267.
- Lv Z, Lio X, Cao W, and Zhu Y, 2013. Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 171-172: 234-248.
- Manschadi AM, Soufizadeh S, and Deihimfard R, 2010. The role and importance of simulation modeling in improving crop production in Iran. Key paper in the 11th Iranian Crop Science Congress, 234-247.
- Mera RJ, Niyogi D, Buol GS, Wilkerson GG, and Semazzi FHM, 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change*, 54: 163-182.
- Ministry of Agriculture-Jahad, 2015. Agricultural statistics, 2013-2014, volume 1. Available at: <http://www.maj.ir/Portal/Home/.pdf>
- Moradi R, koocheki A, Nassiri Mahallati M, and Mansoori H, 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18: 265-284.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR., Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, and Wilbanks T, 2010. The next generation of scenarios for climate change. *Nature*, 463: 747-756.
- Nehbandani AR, and Soltani A, 2016. Simulate the effect of climate change on development, irrigation requirements and soybean yield in Gorgan. *Journal of Water and Soil*, 30(1): 77-87. (In Persian).
- Noreldin T, Ouda S, and bou Elenein R, 2013. Development of management practices to address wheat vulnerably to climate change in north Delta. 11th International Conference on Development of Dry Lands. 18-21 March. Beigin, China.
- Ouda S, Noreldin T, and El-Latif KhA, 2015. Water requirements for wheat and maize under climate change in North Nile Delta. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13 (1). 1-10.
- Ouda S, Sayed M, El Afandi G, and Khalil F, 2010. Developing an adaptation strategy to reduce climate change risks on wheat grown in sandy soil in Egypt. 10th International Conference on Development of Dry Lands. 12-15 December. Cairo, Egypt.
- Prescott JA, 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64: 114-118.
- Rahimi D, and Salahshour F, 2014. Estimation of water requirement, evaporation and potential transpiration of brassica napus I plant in Ahwaz town using cropwat model. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(4):1377-1387.
- Rahimi Moghaddam S, Kambouzia J, and Deihimfard R, 2016. Simulating the impacts of climate change on maize yield in Khozestan province using future climate scenarios generated by AgMIP methodology. 2nd international & 14th national Iranian Crop Science Congress. 30 August-1 September. Gilan, Iran.
- Rahmani M, Jami Al-Ahmadi M, Shahidi A, and Hadizadeh Azghandi M, 2016. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain). *Journal of Agroecology*, 7(4):443-460. (In Persian).
- Ruane AC, Cecil LD, and Horton RM, 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 132-145.

- Schooper JB, Lambert RJ, Vasilas BL, and Westgate ME, 1987. Plant factors controlling seed set in maize the influence of silk, pollen, and ear-leaf water status and tassel heat treatment at pollination. *Plant Physiology*, 83: 121-125.
- Singh V, Nguyen CT, van Oosterom EJ, Chapman SC, Jordan DR, and Hammer GL, 2015. Sorghum genotypes differ in high temperature responses for seed set. *Field Crops Research*, 171: 32-40.
- Singh V, Nguyen CT, Yang Z, Chapman SC, van Oosterom EJ, and Hammer GL, 2016. Genotypic differences in effects of short episodes of high-temperature stress during reproductive development in sorghum. *Crop Science*, 56: 1-12.
- Stone P, 2001. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In *Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress* (ed. A.S. Basra), pp. 243-291. Food Products Press, Binghamton, NY, USA.
- Tao F, and Zhang Z, 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy*, 33:103-16.
- Tingem M, and Rivington M, 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 153-168.
- Tojo Soler CM, Sentelhas PC, and Hoogenboom G, 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy*, 27:165-77.
- Wall BH "TAMET", 1977. Computer program for processing meteorological data." CSIRO Australia. Division of Tropical Crops and Pastures. *Tropical Agronomy Technical Memorandum*, 4, 13p.
- Wang B, Liu DL, Asseng S, Macadam I, Yu Q, 2015. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209-210: 11-21.
- Wang J, Wang E, and Liu DL, 2011. Modelling the impact of climate change on wheat yield and field water balance over the Murry-Darling Basin in Australia. *Theoretical and Applied Climatology*, 104:285-300.
- Wayne G.P, 2013. The beginner's guide to representative concentration pathways. *Skeptical Sci.*, URL: <http://www.skepticalscience.com/docs/RCP Guide>.
- Wilby RL, Charles SP, Zorita E, Timbal B, Whetton P, and Mearns LO, 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. In: *IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis*.
- Yang Y, Liu DL, Rajin Anwar M, Leary G, Macadam I, and Yang Y, 2016. Water use efficiency and crop water balance of rainfed wheat in a semi-arid environment: sensitivity of future changes to projected climate changes and soil type. *Theoretical and Applied Climatology*, 123:565-579.