



تاریخ کاشت زود هنگام به عنوان راهکاری برای بهبود عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک و فنولوژیک ذرت در شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه

*سجاد رحیمی مقدم^۱ و خسرو عزیزی^۲

^۱دانش آموخته دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه شهید بهشتی، ^۲دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۲

چکیده

سابقه هدف: تغییر اقلیم به طور مستقیم می تواند بر امنیت غذایی در نقاط مختلف جهان تأثیرگذار باشد، زیرا فرآیندهای تغییر اقلیم که شامل افزایش غلظت دی اکسید کربن اتمسفری، دما و متغیر بودن بارش است، به طور مستقیم محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می دهد. ذرت از جمله گیاهان C4 است که نسبت به تغییرات اقلیمی حساس می باشد. بنابراین برای مقابله و کاهش حساسیت ذرت در مواجهه با تغییرات اقلیمی نیازمند به کار بردن راهکارهای سازگاری می باشیم. یکی از راهکارهای مؤثر استفاده از تغییر تاریخ کاشت ها است. بسیاری از مطالعات نشان می دهند که تغییر در تاریخ کاشت ها به ویژه تاریخ کاشت های زود هنگام می تواند به مقابله با تغییرات اقلیمی کمک کند.

مواد و روش ها: این تحقیق در سه شهرستان از استان کرمانشاه انجام شد. بدین منظور ابتدا اقلیم آینده این شهرستان ها با استفاده از داده های اقلیمی بلندمدت دوره پایه (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تشعشع روزانه در دوره پایه ۲۰۰۹-۱۹۸۰) و با استفاده از روش ارائه شده توسط AgMIP تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تولید شدند. آزمایش های بلندمدت شبیه سازی از یک رقم (سینگل کراس ۷۰۴)، پنج تاریخ کاشت (۱۶ فروردین، ۳۱ فروردین، ۱۵ اردیبهشت، ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد)، ۳ منطقه (کرمانشاه، کنگاور و اسلام آباد) و دو سناریوی اقلیمی در ۳۰ سال تشکیل شدند که در مجموع شامل ۱۳۵۰ آزمایش شبیه سازی بودند. در این تحقیق از مدل APSIM برای شبیه سازی رشد و عملکرد ذرت دانه ای استفاده شد. در این تحقیق تمامی شبیه سازی ها در شرایط پتانسیل و عدم محدودیت نیتروژن و آب انجام شد. این مدل پیش تر برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ که رایج ترین رقم مورد کشت در استان کرمانشاه می باشد پارامتریابی و ارزیابی شده است. در این مطالعه برای تمامی تجزیه های آماری و رسم شکل ها از نرم افزار OriginPro 9.1 (۳۱) و R (۲۴) استفاده گردید.

یافته ها: میانگین عملکرد استان کرمانشاه در دوره پایه ۱۱۳۵۴ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج نشان داد که به طور متوسط عملکرد دانه ذرت در استان کرمانشاه در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۶۰/۸۲ و ۸۰/۷۳ درصد کاهش می یابد. در بین شهرستان های مختلف کنگاور با میانگین ۱۳۴۲۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کرمانشاه با میانگین ۷۹۵۲/۴ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را در دوره پایه داشتند. نتایج نشان داد که به طور

*مسئول مکاتبه: sajadr.moghaddam@yahoo.com

میانگین بالاترین عملکرد در شرایط تغییر اقلیم در یک تاریخ کاشت زود هنگام (۱۶ فروردین) با ۷۰۷۱/۲ و ۴۷۴۳ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) به دست آمد. در آینده به طور متوسط (میانگین دور سناریو) طول دوره رشد، رشد رویشی و رشد زایشی به ترتیب نسبت به دوره پایه ۴/۷، ۴ و ۱/۷ درصد کاهش داشت. همچنین در دوره آینده میانگین تعداد و وزن دانه در استان کرمانشاه کاهش یافت به طوری که تحت RCP4.5 این کاهش به ترتیب برابر با ۵۶/۵ و ۳۱/۸ درصد بود و تحت RCP8.5 این کاهش به ترتیب برابر با ۷۸/۵ و ۵۹/۳ درصد بود. با این وجود این کاهش در طول دوره رشد، رشد رویشی، رشد زایشی، تعداد دانه و وزن دانه در تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین نسبت به بقیه تاریخ کاشت‌ها به ویژه تاریخ کاشت‌های دیر هنگام کمتر بود.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تأثیرات منفی تغییر اقلیم بر روی عملکرد ذرت استان کرمانشاه و همچنین تأثیرات منفی این تغییرات بر روی خصوصیات فیزیولوژیک و فنولوژیک ذرت بود. این تأثیرات منفی غیرقابل اجتناب بوده با این وجود نتایج نشان داد تاریخ کاشت‌های زود هنگام می‌تواند این تأثیرات منفی را کاهش دهد. به طوری که در بیشتر موارد تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین توانست در دوره آینده اثرات منفی تغییر اقلیم را بر عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیک و فنولوژیک ذرت را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: APSIM-Maize، تغییر اقلیم، تعداد دانه، بیشینه شاخص سطح برگ

مقدمه

دی اکسید کربن اتمسفری، دما و متغیر بودن بارش است، به طور مستقیم محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵ و ۲۱). البته واکنش همه محصولات کشاورزی نسبت به تغییر اقلیم یکسان نیست. به طوری که با توجه به مسیر فتوسنتزی (C3 یا C4) واکنش گیاهان به تغییر اقلیم متفاوت می‌باشد. ذرت از جمله گیاهان C4 است که نسبت به تغییرات اقلیمی حساس می‌باشد (۱۷). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که این گیاه نسبت به دمای خیلی بالا حساس بوده و افزایش دما تا حدود زیادی می‌تواند عملکرد این گیاه را کاهش دهد (۷، ۷ و ۲۰)، این کاهش عملکرد می‌تواند به واسطه افزایش تنفس، کاهش فتوسنتز، کوتاه کردن چرخه محصول و مهم‌تر از آن کاهش باروری و عقیم شدن دانه گردیده (۷ و ۹) ایجاد شود. الکساندروف و هوگنوم (۲۰۰۰) اثر افزایش درجه حرارت را بر عملکرد ذرت برای دوره ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ شبیه‌سازی کردند و گزارش کردند که کاهش عملکرد در دوره ۲۰۸۰ نسبت به دو

در طی سال‌های گذشته موضوع تغییر اقلیم در بسیاری از مطالعات علمی مطرح شده است به طوری که نوسان‌ها و تغییرات اقلیمی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین چالش‌های محیطی هستند که در شروع قرن ۲۱ میلادی مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱۲). بنابر گزارش^۱ IPCC روند گرم شدن کره‌ی زمین به سرعت در حال وقوع است و انتظار می‌رود که با صرف نظر از اثری که گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم جهانی دارند، دمای کره زمین تا سال ۲۰۳۰ نسبت به اواخر قرن بیستم تقریباً یک درجه سانتی‌گراد در مقیاس جهانی گرم می‌شود (۱۲). امروزه در شرایطی که رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی، تقاضا برای غذا را افزایش داده است (۱۱)، تغییر اقلیم به طور مستقیم می‌تواند بر امنیت غذایی در نقاط مختلف جهان تأثیرگذار باشد، زیرا فرآیندهای تغییر اقلیم که شامل افزایش غلظت

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

حاصل از افزایش درجه حرارت بر روی عملکرد گیاه زراعی می‌شود (۳۲). در مطالعه‌ای توسط رحیمی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۸) در استان خوزستان استراتژی‌های سازگاری برای ذرت در شرایط تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت. این استراتژی‌ها شامل ارقام و مدیریت تاریخ کشت بود (۲۸). نتایج نشان داد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام و ارقام زودرس برای کشت زمستانه مناسب می‌باشند و عملکرد بالاتری دارند. با این وجود این برهمکنش برای کشت تابستانه مناسب نبود و برهمکنش تاریخ کاشت دیر هنگام و ارقام دیررس بهترین راهکار برای مقابله با تغییر اقلیم در این فصل کشت بود. بر این اساس این تحقیق در راستای بررسی اثر تاریخ کاشت زود هنگام به‌عنوان راهکاری برای سازگاری ذرت با شرایط تغییر اقلیم در استان کرمانشاه انجام گرفت.

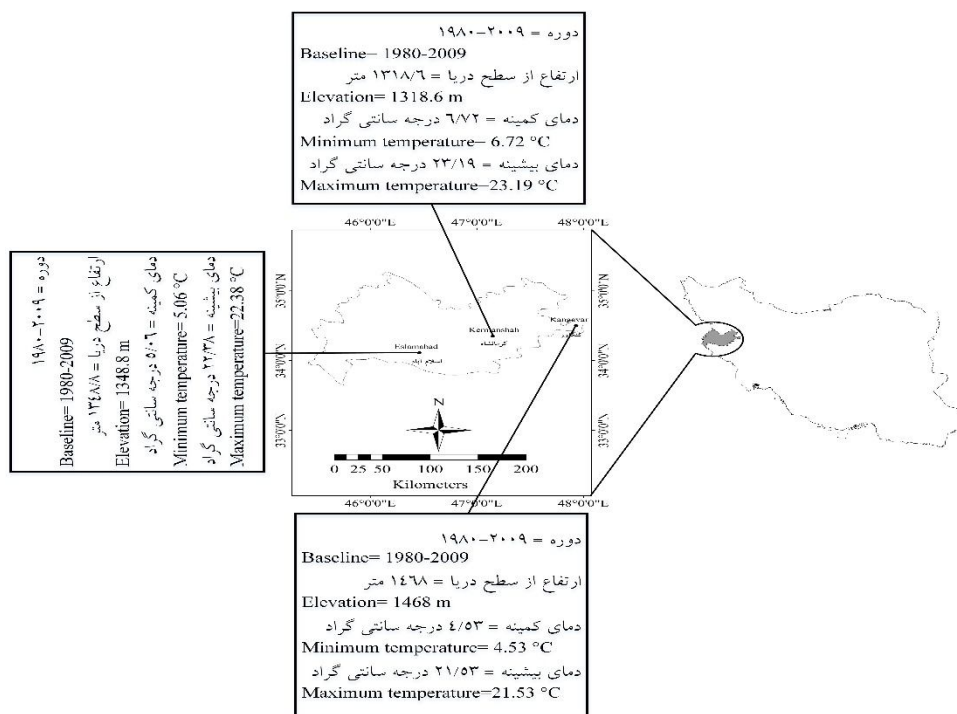
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های اقلیمی
مورد نیاز: استان کرمانشاه با آب و هوایی معتدل در غرب ایران بین طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی واقع شده است. این استان با مساحت ۲۴۶۶۰ کیلومترمربع در غرب کشور واقع شده و ۱/۵ درصد مساحت ایران را به خود اختصاص داده است. سه منطقه کنگاور، کرمانشاه و اسلام آباد در این تحقیق انتخاب شدند. مشخصات جغرافیایی و خصوصیات اقلیمی بلندمدت این مناطق در شکل ۱ نشان داده شده است. معیارهایی که برای انتخاب این مناطق در نظر گرفته شد شامل سطح زیرکشت ذرت و تنوع آب و هوایی در سطح استان کرمانشاه بود.

دوره دیگر کمتر بود، به‌طوری‌که حداکثر عملکرد شبیه‌سازی شده در سه دوره به‌ترتیب حدود ۷، ۶/۲ و ۵/۳ تن در هکتار گزارش کردند. این محققان دلیل این تغییر را، کاهش طول دوره رشد ذرت بیان کردند (۳). به هرحال این کاهش عملکرد می‌تواند در مناطقی که سطح زیر کشت بالایی دارند خود را بیشتر نشان دهد.

استان کرمانشاه با ۱۴/۵ درصد از کل سطح برداشت ذرت دانه‌ای معادل ۳۴۰۰۰ هکتار بعد از استان خوزستان دارای بیشترین سطح برداشت ذرت دانه‌ای در کشور است. این استان همچنین با ۱۸/۴ درصد (معادل ۳۰۶۰۰۰ تن) تولید ذرت دانه‌ای بعد از استان خوزستان دارای بیشترین مقدار تولید ذرت دانه‌ای است (۱۸). با توجه به اهمیت این استان در تولید ذرت و سطح زیر کشت بالای محصول ذرت در این استان، تغییرات اقلیمی می‌توانند اثرات منفی خود را در زمینه کاهش عملکرد در این منطقه و در سطح کشور بیشتر نشان دهند. بنابراین برای مقابله با کاهش عملکرد حاصل از تغییرات در این استان نیازمند به کار بردن راهکارهای سازگاری می‌باشد. یکی از راهکارهای مؤثر استفاده از تغییر تاریخ کاشت‌ها است (۳۵).

استفاده از تغییر در تاریخ کاشت به‌عنوان راهکار سازگاری برای فرار از استرس گرما در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند برای محصول ذرت در نظر گرفته شود (۱۵). الکساندروف و هوگنوم (۲۰۰۰) در یک مطالعه اثر تغییرپذیری اقلیم را بر عملکرد گندم و ذرت در بلغارستان ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اقدامات سازگاری برای کاهش تأثیر بالقوه تغییر اقلیم بر تولید ذرت در بلغارستان شامل تغییرات احتمالی در تاریخ کاشت و انتخاب هیبرید می‌باشد (۳). در تحقیق وانگ و همکاران (۲۰۰۹) نشان داده شد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام باعث کاهش اثرات منفی



شکل ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی بلندمدت مناطق مورد مطالعه.

Figure 1. Climatic properties of the study locations and their geographical positions in Kermanshah province.

در این معادله، R_s نشان‌دهنده تابش روزانه (مگاژول در مترمربع در روز)، n تعداد ساعات آفتابی، N حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن و R_a تابش فرازمینی^۲ (مگاژول در مترمربع در روز) می‌باشد. پارامترهای a و b ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند. در این تحقیق مقدار پارامترهای a و b برای مناطق مختلف استان کرمانشاه به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۳۵۹ در نظر گرفته شد (۱۹).

سناریوهای اقلیمی، مدل اقلیمی و روش تولید داده‌های آینده: در این تحقیق مدل گردش عمومی اقلیمی برای منطقه غرب و شمال غرب ایران دارد استفاده شد. برای ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی مورد استفاده از روش AgMIP^۳ (۱ و ۲) استفاده شد.

در این مطالعه داده‌های بلندمدت اقلیمی که برای پیش‌بینی اقلیم آینده استان کرمانشاه و شبیه‌سازی رشد و نمو ذرت استفاده شد شامل دمای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر) و تعداد ساعات آفتابی بودند که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شدند. پس از جمع‌آوری داده‌های بلندمدت روزانه، به دلیل این‌که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی داده‌های ثبت نشده و پرت وجود دارد به همین دلیل با استفاده از برنامه^۱ WeatherMan^۷ داده‌های پرت و گم‌شده اصلاح و بازسازی شد. همچنین با توجه به این‌که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تابش ثبت نمی‌شود، به‌همین منظور با داشتن تعداد ساعات آفتابی، با استفاده از رابطه آنگستروم (۱۸) تابش روزانه در هر ایستگاه تخمین زده شد.

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a \quad (۱)$$

2- Extraterrestrial radiation
3- Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project

1- Weather Data Manager

سیستم‌های تولید کشاورزی است استفاده شد. مدل APSIM یک مدل شبیه‌سازی فرآیندگرایی گیاه زراعی و سیستم‌های زراعی است که توسط واحد تحقیقات APSRU ساخته شده است (۱۴). در این تحقیق تمامی شبیه‌سازی‌ها در شرایط پتانسیل و عدم محدودیت نیتروژن و آب انجام شد. این مدل پیش‌تر برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ که رایج‌ترین رقم مورد کشت در استان کرمانشاه می‌باشد پارامتریابی و ارزیابی شد که نتایج پارامتریابی و ارزیابی آن دارای دقت بالای بود (۲۵ و ۲۸).

تیمارها و آزمایش‌های بلندمدت شبیه‌سازی از یک رقم، پنج تاریخ کاشت، ۳ منطقه، یک دوره پایه و یک دوره آینده (تحت دو سناریو) در ۳۰ سال تشکیل شدند که در مجموع شامل ۱۳۵۰ آزمایش شبیه‌سازی بود. تاریخ کاشت‌ها شامل پنج تاریخ کاشت، دو تاریخ کاشت زودهنگام (۱۶ فروردین و ۳۱ فروردین) تاریخ کاشت بهینه منطقه (۱۵ اردیبهشت، تاریخ کاشتی که در حال حاضر به‌کار برده می‌شود) و دو تاریخ کاشت دیرهنگام (۳۰ اردیبهشت و ۳۰ خرداد ماه) بودند. رقم مورد استفاده در این تحقیق رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. این رقم بیشترین سطح زیر کشت را در استان کرمانشاه دارد به طوری که بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت استان کرمانشاه را شامل می‌شود. در این مطالعه برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار OriginPro 9.1 (۳۱) و R (۲۴) استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: به‌طور میانگین در سراسر استان کرمانشاه، عملکرد دانه ذرت این استان در دوره پایه ۱۱۳۵۴ کیلوگرم در هکتار شبیه‌سازی شد. در این دوره در بین شهرستان‌های مختلف کنگاور با میانگین ۱۳۴۲۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کرمانشاه با

در روش AgMIP سناریوهای اقلیمی آینده بر اساس داده‌های حاصل از دوره پایه (دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش) تحلیل می‌شوند. سناریوهای اقلیمی با استفاده از روش سناریوی دلتا و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی که در AgMIP ارائه شده است (کدهای نوشته شده به زبان R) تولید شدند (۱، ۲، ۴، ۳۰ و ۳۴). روش تولید سناریو اقلیمی، بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارش استوار است (۳۰؛ ۳۴). همچنین در این مطالعه از دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. به‌طورکلی سناریوهای پیشنهادی جدید در چهار حالت ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ هستند. RCPهای ۴/۵، ۶ و ۸/۵ تقریباً با سناریوهای B1، A1B و A2 مطابقت دارند (۲۲). با انتشار سناریوهای جدید از سال ۲۰۱۳، تمرکز زیادی بر استفاده از آنها شده است. در گزارش ارزیابی پنجم IPCC و برخی تحقیقات دیگر، پیش‌بینی شده است بر اساس سناریوهای RCP، کمینه‌های دما نسبت به بیشینه‌های دما افزایش، فراوانی روزهای یخبندان کاهش و فراوانی شب‌های حاره‌ای افزایش معنی‌داری در دهه‌های آینده خواهند داشت (۶). توضیحات تکمیلی در مورد این سناریوها در موس و همکاران (۲۰۱۰) و واین (۲۰۱۳) بیان شده است (۱۷؛ ۲۷). در نهایت، داده‌های اقلیمی آینده برای یک دوره آینده ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تحت دو سناریوی (RCP4.5 و RCP8.5) با استفاده روش AgMIP تولید شدند.

مدل زراعی، تیمار و آزمایش‌های شبیه‌سازی و ابزارهای آماری: پس از پیش‌بینی شرایط آب و هوایی در شرایط تغییر اقلیم در مناطق مورد بررسی، به‌منظور تعیین عملکرد ذرت در شرایط پتانسیل در استان کرمانشاه از مدل^۱ APSIM که یک شبیه‌ساز

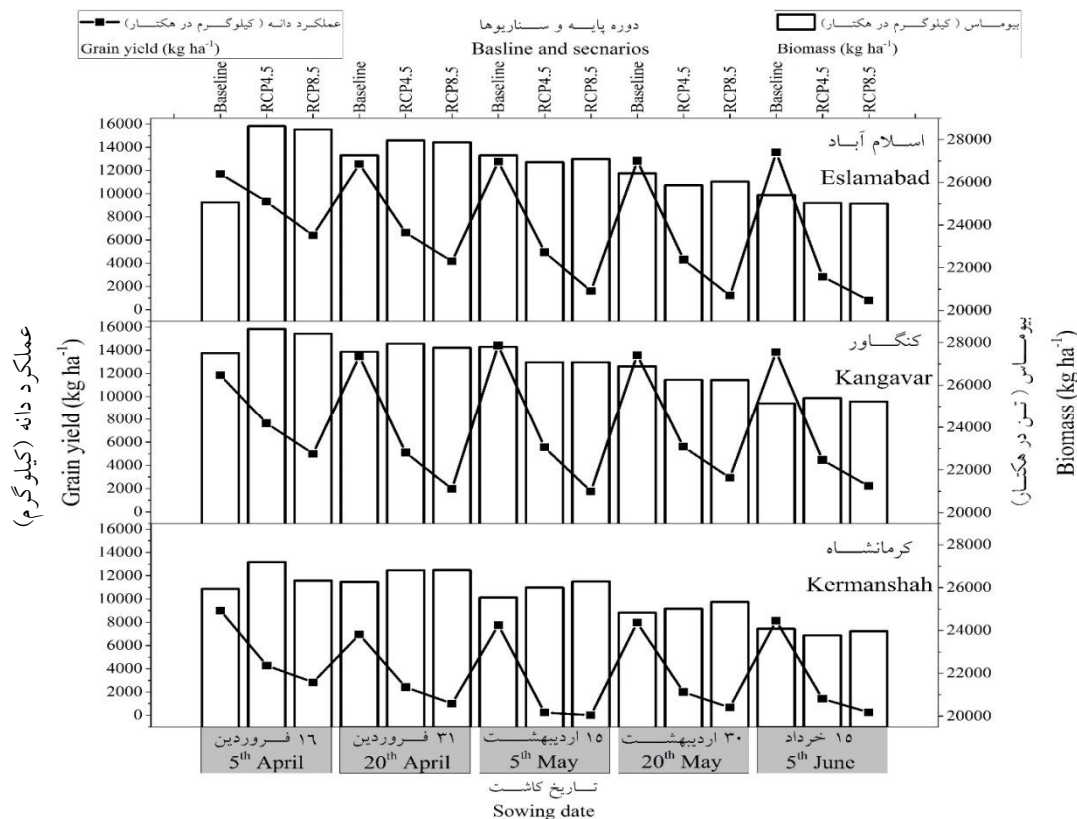
1- Agricultural Production System sIMulator

می‌آید (شکل ۲). نتایج این تحقیق با نتایج لیو و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد (۱۵). در واقع تاریخ کاشت‌های زود هنگام در شرایط تغییر اقلیم از طریق جلوگیری از برخورد با دماهای بالا (۳۲)، کاهش آسیب‌پذیری به دانه‌گرده، افزایش تشکیل دانه (۳۵) و همچنین افزایش طول دوره رشد (۱۵) باعث جلوگیری از کاهش عملکرد می‌شوند. نتایج آزمون همبستگی نیز نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد به طوری که عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با ضریب ۰/۹۴ با تعداد دانه داشت. همچنین بیشترین ضریب منفی و معنی‌دار را با ضریب ۰/۶۴- با صفت میانگین دما در طول دوره رشد داشت (جدول ۱).

بیوماس و شاخص سطح برگ: به‌طور کلی بیوماس و شاخص سطح برگ نسبت به عملکرد دانه نه تنها از تغییرات اقلیمی تأثیر نپذیرفتند بلکه در دوره آینده بیوماس و شاخص سطح برگ افزایش پیدا کردند. میانگین بیوماس و شاخص سطح برگ تولیدی ذرت استان کرمانشاه در دوره پایه ۲۶۱۹۷/۷ کیلوگرم در هکتار و ۴/۶۳ بود. این در حالی بود که تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 میانگین بیوماس و شاخص سطح برگ تولیدی در کرمانشاه به ترتیب ۲۶۵۷۱/۶ و ۲۶۵۳۱/۴ و ۴/۷۳ و ۴/۷۲ بود که نشان‌دهنده ۱/۴۳ و ۱/۲۷ درصد افزایش در بیوماس و ۲/۲ و ۱/۹ درصد افزایش در شاخص سطح برگ بود (شکل ۲ و ۳).

میانگین ۷۹۵۲/۴ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داشتند. در بین تاریخ کاشت‌ها و مناطق مختلف بیشترین عملکرد با ۱۴۳۹۹/۷ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و شهرستان کنگاور به دست آمد. همچنین کمترین مقدار عملکرد (۶۹۳۹/۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط تاریخ کاشت ۳۱ فروردین در شهرستان کرمانشاه بود (شکل ۲). این در حالی بود که به‌طور میانگین (کل مناطق) در تاریخ کاشت‌های مختلف، بیشترین عملکرد (۱۱۸۴۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت پانزدهام ثبت گردید (شکل ۲).

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که به‌طور متوسط عملکرد دانه ذرت در استان کرمانشاه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۶۰/۸۲ و ۸۰/۷۳ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۲). با این حال این کاهش در مناطق مختلف یکسان نبود به طوری که بیشترین کاهش عملکرد با ۷۴ و ۸۸/۱ درصد به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5 مربوط به شهرستان کرمانشاه بود. به‌طور کلی میانگین عملکرد استان کرمانشاه در تاریخ کاشت مرسوم آن (۱۵ اردیبهشت) در شرایط تغییر اقلیم برابر با ۳۵۸۳/۷ و ۱۱۲۴/۶ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) است. این در حالی است که به‌طور میانگین بالاترین عملکرد در شرایط تغییر اقلیم در یک تاریخ کاشت دیگر (۱۶ فروردین، زود هنگام) با ۷۰۷۱/۲ و ۴۷۴۳ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) به دست



شکل ۲- نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت‌های مختلف در دوره پایه و آینده.
Figure 2. Simulation of grain yield and biomass in all locations at different sowing dates in the baseline and future periods.

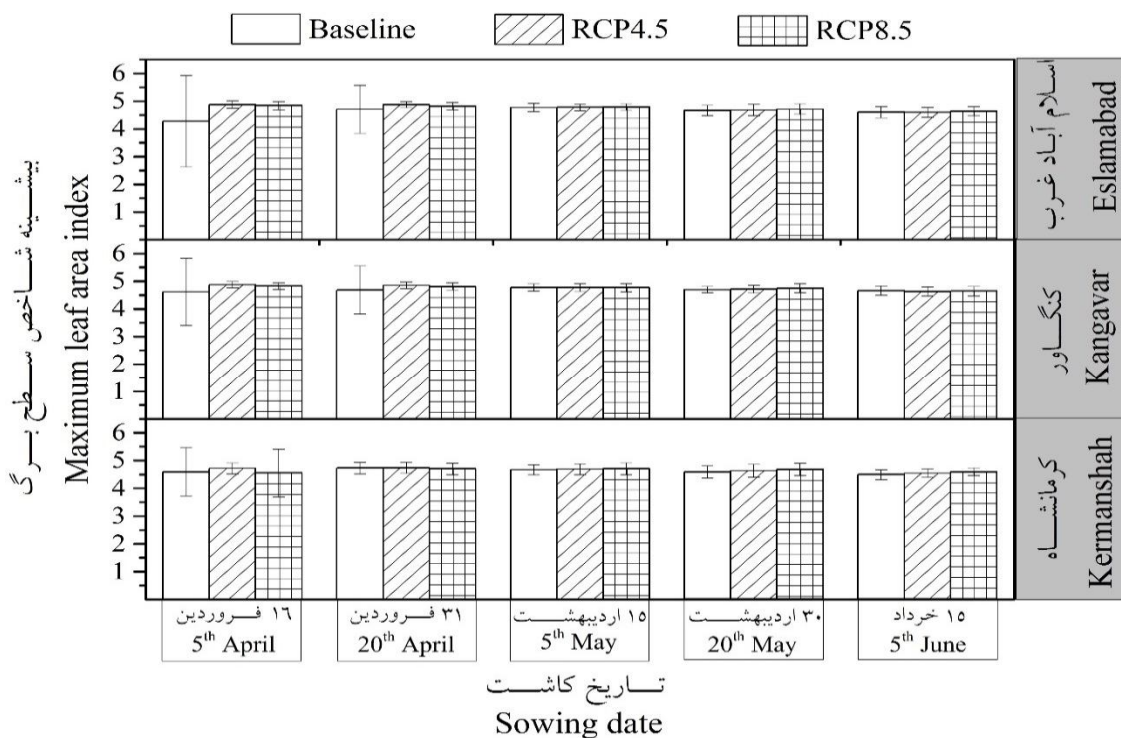
جدول ۱- همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های رشدی و اقلیمی مورد بررسی در تحقیق.

Table 1. Correlation coefficients between yield and growth and climatic indexes.

صفات Traits	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
طول دوره رشد Duration of growth period (1)	1	0.44**	0.77**	-0.29**	-0.59**	0.36**	0.4**	0.31**	0.74**
عملکرد دانه Grain yield (2)		1	0.20**	-0.64**	0.15**	0.05*	0.94**	0.71**	0.12**
بیوماس Biomass (3)			1	0.03 ^{ns}	0.62**	0.42*	0.24**	0.21**	0.91**
میانگین دما در طول دوره رشد Average temperature during growth period (4)				1	-0.05*	0.2**	-0.57**	-0.44**	0.24**
طول دوره رشد رویشی Duration of vegetative growth period (5)					1	0.65**	0.35**	0.33**	0.71**
طول دوره رشد زایشی Duration of reproductive growth period (6)						1	0.22**	0.22**	0.27**
تعداد دانه Number of grains (7)							1	0.78**	0.14**
وزن دانه Grain weight (8)								1	0.14**
بیشینه شاخص سطح برگ Maximum leaf area index (9)									1

** معنی داری در سطح ۱ درصد، * معنی داری در سطح ۵ درصد و ^{ns} غیر معنی دار.

** Significant at 1% level, * Significant at 5% level and ^{ns} non-significant.



شکل ۳- بیشینه شاخص سطح برگ شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت‌های مختلف در دوره پایه و آینده.
 Figure 3. Maximum leaf area index in all locations at different sowing dates in the baseline and future scenarios.

همان‌طور که بیان شد تغییرات اقلیمی باعث افزایش شاخص سطح برگ و بیوماس نسبت به دوره پایه شد با این وجود این افزایش در شهرستان‌های مختلف یکسان نبود به طوری که بیشترین افزایش تحت دو سناریوی اقلیمی با $2/3$ و $2/3$ درصد افزایش در بیوماس (به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) $3/4$ و $3/4$ درصد افزایش در شاخص سطح برگ (به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) مربوط به شهرستان اسلام‌آباد بود (شکل ۲ و ۳). به هر حال تحت دوره آینده در استان کرمانشاه، تاریخ کاشت زود هنگام 16 فروردین از نظر بیوماس و شاخص سطح برگ بهترین کارکرد را داشت به طوری که مقدار بیوماس و شاخص سطح برگ در این تاریخ کاشت در RCP4.5 به ترتیب برابر با $28154/3$ کیلوگرم در هکتار و $4/8$ و در RCP8.5 به ترتیب برابر با 27740 کیلوگرم در هکتار و $4/7$ بود (شکل ۲ و ۳). افزایش بیوماس در تاریخ کاشت زود هنگام‌های در دوره آینده در واقع به واسطه افزایش شاخص سطح برگ در این تاریخ کاشت‌ها

در بین شهرستان‌های مختلف کنگاور با میانگین $26981/6$ کیلوگرم در هکتار و $4/7$ بیشترین و کرمانشاه با میانگین $25331/4$ کیلوگرم در هکتار و $4/6$ کمترین بیوماس و شاخص سطح برگ را در دوره پایه داشتند. در تاریخ کاشت‌های مختلف بیشترین بیوماس و شاخص سطح برگ با $27800/3$ کیلوگرم در هکتار $4/77$ مربوط به تاریخ کاشت 15 اردیبهشت در شهرستان کنگاور بود. همچنین کمترین مقدار بیوماس $24079/9$ کیلوگرم در هکتار) مربوط تاریخ کاشت 15 خرداد در شهرستان کرمانشاه بود (شکل ۲ و ۳). کمترین مقدار شاخص سطح برگ ($4/27$) مربوط به شهرستان اسلام‌آباد در تاریخ کاشت 16 فروردین بود. این در حالی بود که به طور میانگین (کل مناطق) در تاریخ کاشت‌های مختلف، بیشترین بیوماس $27033/5$ کیلوگرم در هکتار) و شاخص سطح برگ ($4/7$) مربوط به تاریخ کاشت 31 فروردین بود (شکل ۲ و ۳).

۲۴/۷) درجه سانتی‌گراد) در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت در شهرستان کرمانشاه ثبت گردید. به‌طورکلی مقدار این صفت در تاریخ کاشت‌های زود هنگام نسبت به تاریخ کاشت‌های دیر هنگام کمتر بود.

در آینده بطور متوسط (میانگین دو سناریو) طول دوره رشد، رشد رویشی و رشد زایشی به‌ترتیب نسبت به دوره پایه ۴/۷، ۴ و ۱/۷ درصد کاهش داشت. در این بین شهرستان کنگاور در تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین تحت RCP4.5 به‌ترتیب با ۱۵۴ و ۹۰/۸ روز بیشترین دوره رشدی و دوره رشد رویشی را داشت. تحت RCP8.5 بالاترین مقدار این صفات به‌ترتیب با ۱۵۲/۱ و ۸۸/۵ روز مربوط به همین تاریخ کاشت و شهرستان بود. کمترین مقدار این صفات نیز تحت RCP4.5 مربوط به شهرستان کرمانشاه (۱۳۲/۶) روز در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و ۶۸/۳ روز در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد) و RCP8.5 مربوط به شهرستان اسلام‌آباد (۱۳۳/۸۷) روز در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و ۶۸/۴ روز در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد) بود (شکل ۴). همان‌طورکه در شکل ۴ مشاهده می‌شود تأثیرات تاریخ کاشت بیشتر بر روی دوره رشد رویشی محسوس است و در دوره آینده هم‌زمان هرچه از تاریخ کاشت‌های زود هنگام به سمت تاریخ کاشت‌های دیر هنگام می‌رویم طول دوره رشد رویشی کاهش می‌یابد. به‌طورکلی با کاهش طول دوره رشد و به‌ویژه طول دوره رشد رویشی عملکرد ذرت کاهش می‌یابد. بسیاری از مطالعات نشان‌دهنده رابطه مثبت بین طول دوره رشد (به‌ویژه رشد رویشی) و عملکرد دانه هستند (۸، ۲۶ و ۲۷). افزایش طول دوره رشد و رشد رویشی را می‌توان در تاریخ کاشت‌های زود هنگام چه در دوره گذشته و چه در دوره آینده دید. در واقع استفاده از تاریخ کاشت‌های زود هنگام برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم می‌تواند از طریق افزایش طول دوره رشدی به‌ویژه طول دوره رشد رویشی باعث ثبات و بهبود عملکرد شود. در

می‌باشد. نتایج همبستگی مثبت بین شاخص سطح برگ و بیوماس با ضریب ۰/۹۱ نیز نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد (جدول ۱). همچنین در تاریخ کاشت‌های زود هنگام با توجه به برخورد گیاه ذرت با دماهای پایین در طول دوره رشد باعث پایین آمدن نرخ تنفسی گیاه ذرت شده بنابراین بیوماس تولیدی در این تاریخ کاشت‌ها بالاتر می‌باشد. روحانی و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر تغییرات آب و هوایی بر تولید محصولات زراعی تانزانیا را بررسی کردند و نشان دادند که افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد، عملکرد ذرت را ۱۳ درصد کاهش داد (۲۹).

طول دوره رشد، رشد رویشی، رشد زایشی و میانگین دما در طول دوره رشد: طول دوره رشد، رشد رویشی و رشد زایشی ذرت در استان کرمانشاه به‌ترتیب در دوره پایه برابر با ۱۴۷/۸، ۷۹/۴ و ۶۴ روز بود (شکل ۴). در این بین بیشترین مقدار طول دوره رشد و رشد رویشی با ۹۲/۴ و ۱۵۶/۶ روز مربوط به شهرستان کنگاور در تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین بود (شکل ۴). همچنین بیشترین مقدار طول رشد زایشی مربوط به این شهرستان در تاریخ کاشت دیر هنگام ۱۵ خرداد ماه بود. به‌طورکلی همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در دوره پایه تاریخ کاشت‌های زود هنگام دارای طول دوره رشدی و رشد رویشی بیشتری نسبت به تاریخ کاشت‌های دیر هنگام هستند به‌طوری‌که طول رشدی و رشد رویشی در تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین (به‌ترتیب ۱۴۴/۷ و ۸۸/۴ روز) نسبت به بقیه بیشتر بود (شکل ۴). این در حالی است که تاریخ کاشت‌ها کمتر بر روی دوره رشد زایشی تأثیر گذاشت و تاریخ کاشت‌های دیر هنگام باعث افزایش آن شد.

در دوره پایه میانگین دما در طول دوره رشد در استان کرمانشاه برابر با ۲۲/۱۱ درجه سانتی‌گراد بود و کمترین مقدار آن در شهرستان کنگاور و تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین ماه (۱۹/۸ درجه سانتی‌گراد) به‌دست آمد. همچنین بیشترین مقدار این صفت

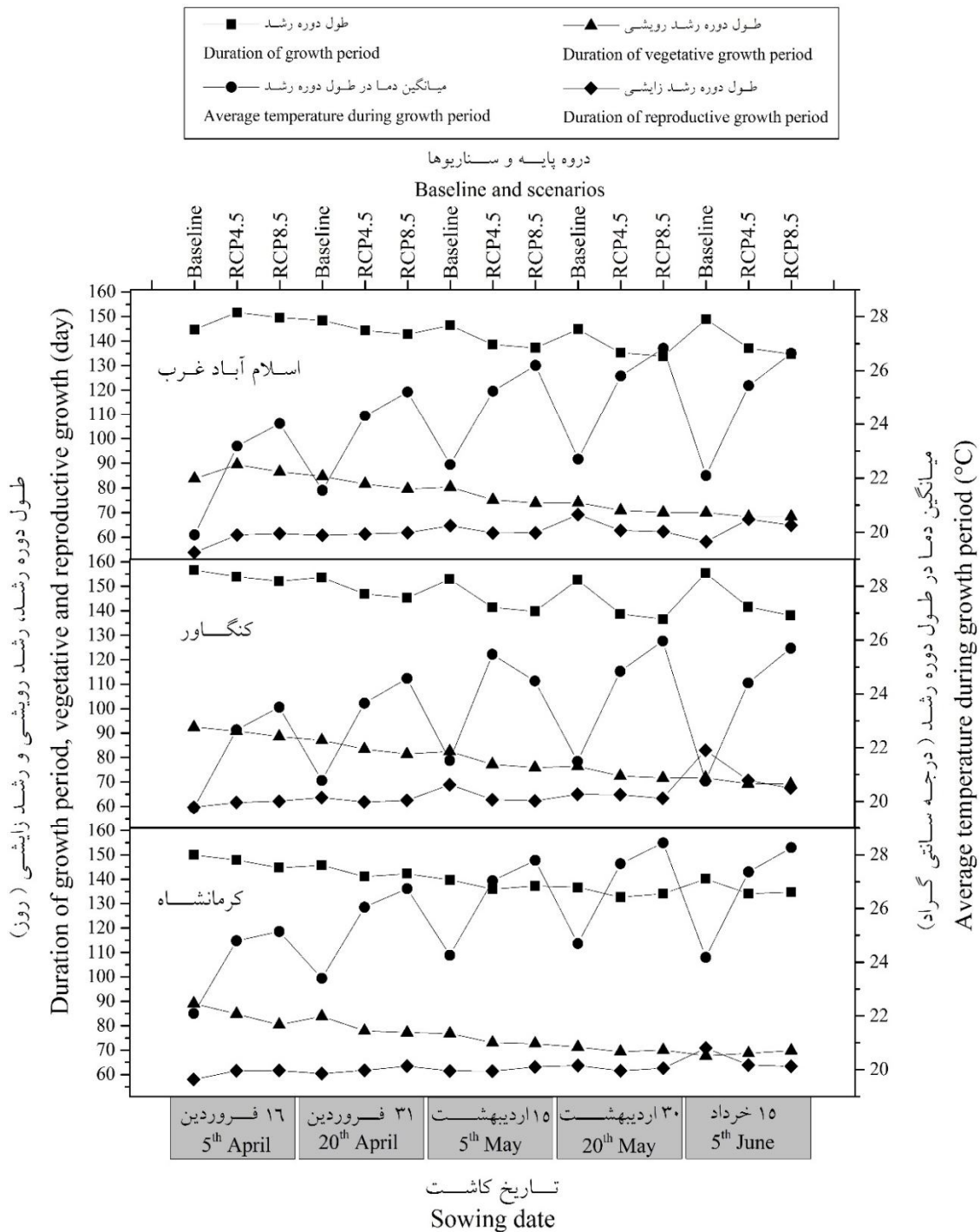
RCP8.5 این کاهش به ترتیب برابر با ۷۸/۵ و ۵۹/۳ درصد بود (شکل ۵). به‌رحال تحت دوره آینده بیشترین تعداد دانه و وزن دانه تحت RCP4.5 با مقدارهای ۲۴۱۴/۳ دانه در مترمربع و ۰/۳۵ گرم مربوط به شهرستان اسلام‌آباد و تاریخ کاشت زود هنگام شانزدهم فروردین بود. همچنین بیشترین تعداد دانه تحت RCP8.5 با مقدارهای ۱۶۵۸/۹ دانه در مترمربع و ۰/۳۲ گرم مربوط به همین شهرستان و تاریخ کاشت بود (شکل ۵). در شکل ۵ تأثیر تاریخ کاشت‌های زود هنگام را (تحت دو سناریو مختلف) می‌توان در بهبود تعداد دانه و وزن دانه در دوره آینده دید به‌طوری‌که تاریخ کاشت زود هنگام ۱۶ فروردین (به‌طور میانگین در تمام شهرستان‌ها) با ۱۸۳۳/۷ تعداد دانه در مترمربع و ۰/۳۲ گرم بیشترین تعداد دانه و وزن دانه را تحت سناریو RCP4.5 داشت. همچنین تحت RCP8.5 با ۱۲۲۷/۵ تعداد دانه در مترمربع و ۰/۲۵ گرم بیشترین تعداد دانه و وزن دانه مربوط به این تاریخ کاشت بود (شکل ۵). به‌طور کلی افزایش دما در دوره آینده از طریق تأثیر بر روی کاهش باروری دانه کرده ذرت باعث کاهش تعداد دانه می‌شود. همبستگی معنی‌دار و منفی بین تعداد دانه و میانگین دما در طول دوره رشدی با ضریب $-۰/۴۴$ نیز مؤید این موضوع می‌باشد. مرا و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود بیان کردند که افزایش دما بیشترین تأثیر را بر مرحله گل‌دهی ذرت گذاشته و با کاهش درصد و دوره تلقیح گل، در نهایت باعث کاهش تعداد دانه و عملکردانه ذرت می‌شود (۱۶). همچنین کاهش وزن دانه ذرت به علت کاهش طول دوره رشدی (همبستگی بین وزن دانه با طول دوره رشدی، رشد رویشی و رشد زایشی معنی‌دار و مثبت می‌باشد) آن به واسطه افزایش دما در دوره آینده می‌باشد. با این حال این اثرات منفی تغییر اقلیم را بر روی تعداد و وزن دانه را با تاریخ کاشت‌های زود هنگام می‌توان کاهش داد. نتایج تحقیق حاضر و بسیاری از تحقیقات بین‌المللی (۱۵؛ ۳۲؛ ۳۳) نیز نشان‌دهنده این موضوع است.

مطالعه‌ای که توسط لیو و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد نشان داده شد که در شرایط تغییر اقلیم تاریخ کاشت‌های زود هنگام از طریق افزایش طول دوره رشد باعث افزایش عملکرد می‌شوند (۱۵).

در آینده به‌طور متوسط (میانگین دو سناریو) میانگین دما در طول فصل رشد نسبت به گذشته ۱۵/۷ افزایش درصد افزایش یافت. دوره آینده بالاترین دما در در طول فصل رشد دما در طول فصل رشد تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲۷/۷ و ۲۸/۴ درجه سانتی‌گراد مربوط به شهرستان کرمانشاه در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت بود. همچنین کمترین مقدار این صفت تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲۲/۶ و ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد مربوط به شهرستان کرمانشاه در تاریخ کاشت ۱۶ فروردین بود (شکل ۴). به‌رحال تاریخ کاشت‌های زود هنگام از نظر میانگین دما در طول فصل رشد دارای مقدار پایین‌تری بودند که همین موضع باعث افزایش طول دوره رشدی و طول دوره رشد رویشی در ذرت شد. همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب $-۰/۵۹$ بین میانگین دما در طول فصل رشد و طول دوره رشدی ذرت مؤید این موضوع می‌باشد (جدول ۱).

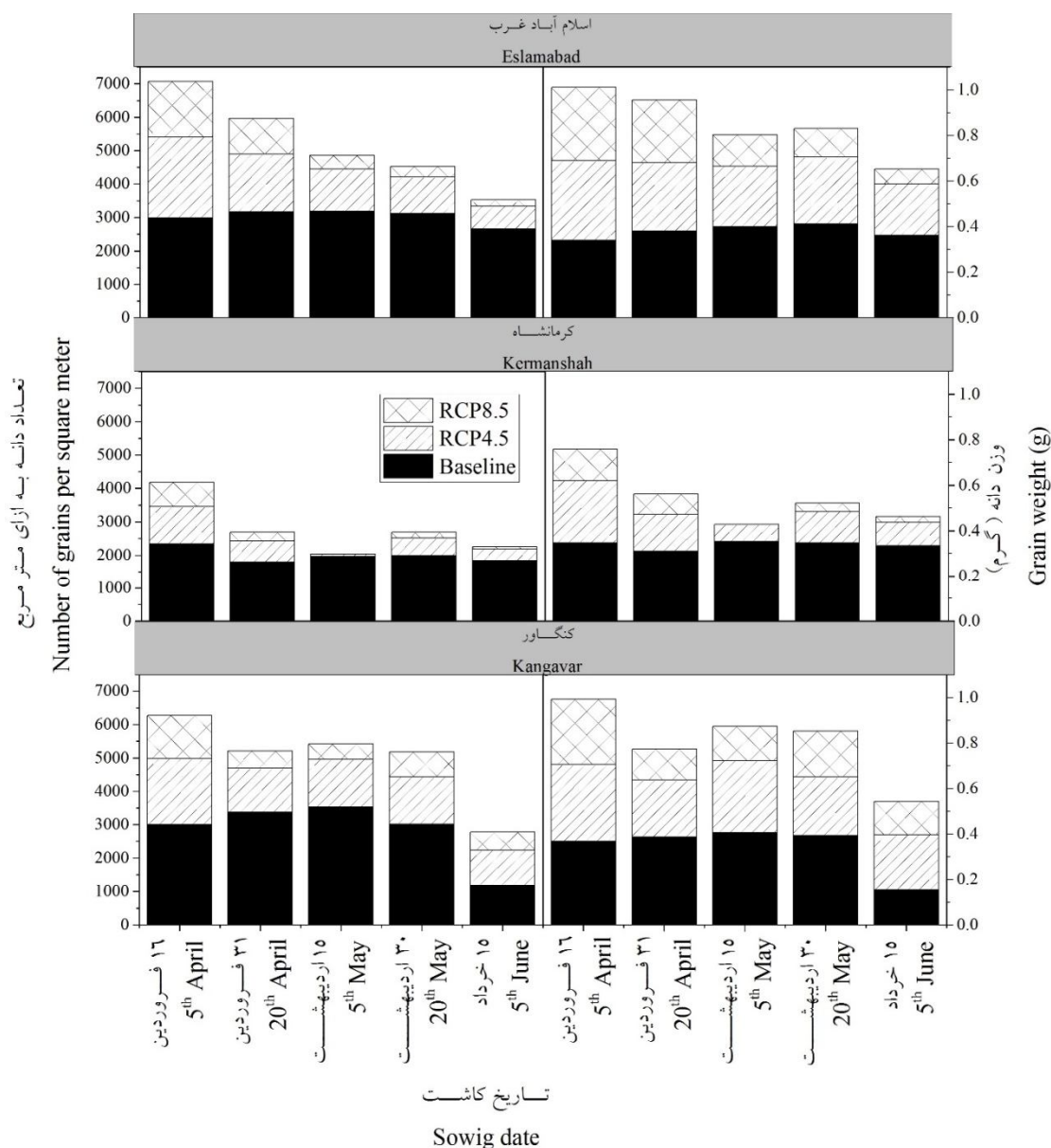
تعداد و اندازه دانه: در دوره گذشته میانگین تعداد و وزن دانه استان کرمانشاه به ترتیب برابر ۲۶۱۱/۳ دانه در مترمربع و ۰/۳۵ گرم بود (شکل ۵). در این بین بیشترین مقدار تعداد دانه (۳۵۳۷/۲ دانه در مترمربع) و وزن دانه (۰/۴۱ گرم) مربوط به شهرستان کنگاور در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت بود. به‌طور کلی (میانگین شهرستان‌ها) از نظر وزن دانه تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت با میانگین ۰/۳۹ گرم برتر بود همچنین این تاریخ کاشت بیشترین تعداد دانه را در شهرستان‌های مورد مطالعه (به‌جز کرمانشاه) داشت (شکل ۵).

در دوره آینده میانگین تعداد و وزن دانه در استان کرمانشاه کاهش یافت به‌طوری‌که تحت RCP4.5 این کاهش به ترتیب برابر با ۵۶/۵ و ۳۱/۸ درصد بود و تحت



شکل ۴- شبیه‌سازی طول دوره رشد، رشد رویشی و رشد زایشی و میانگین دما در طول دوره رشد شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت‌های مختلف در دوره پایه و آینده. نکته: هر نقطه بر روی شکل میانگین ۳۰ سال شبیه‌سازی می‌باشد.

Figure 4. Simulation of duration of growth period, vegetative and reproductive growth periods and average temperature during growth period in all locations at different sowing dates in the baseline and future scenarios. Note: Each point on the figure is an average of 30 years of simulation.



شکل ۵- نتایج شبیه‌سازی وزن و تعداد دانه ذرت در شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت‌های مختلف در دوره پایه و آینده.
Figure 5. Simulation results of the number of grains and grain weight in all locations at different sowing dates in the baseline and future periods.

تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۶۰/۸۲ و ۸۰/۷۳ درصد کاهش می‌یابد. با این حال این کاهش در مناطق مختلف یکسان نبود به طوری که بیشترین کاهش عملکرد با ۷۴ و ۸۸/۱ درصد به ترتیب در RCP8.5 و RCP4.5 مربوط به شهرستان کرمانشاه بود. به طور میانگین بالاترین عملکرد در شرایط تغییر اقلیم در یک تاریخ کاشت زودهنگام (۱۶ فروردین)

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تأثیرات منفی تغییر اقلیم بر روی عملکرد دانه ذرت استان کرمانشاه و همچنین تأثیرات منفی این تغییرات بر روی خصوصیات فیزیولوژیک و فنولوژیک ذرت بود. نتایج نشان داد که به طور متوسط عملکرد دانه ذرت در استان کرمانشاه در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه

RCP8.5 این کاهش به ترتیب برابر با ۷۸/۵ و ۵۹/۳ درصد بود. این تأثیرات منفی غیرقابل اجتناب بوده با این وجود نتایج نشان داد تاریخ کاشت‌های زودهنگام می‌تواند این تأثیرات منفی را کاهش دهد. به طوری که در بیشتر موارد تاریخ کاشت زودهنگام ۱۶ فروردین توانست در دوره آینده اثرات تغییر اقلیم را بر روی عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی ذرت را کاهش دهد.

با ۷۰۷۱/۲ و ۴۷۴۳ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) به دست آمد. در آینده به طور متوسط (میانگین دور سناریو) طول دوره رشد، رشد رویشی و رشد زایشی به ترتیب نسبت به دوره پایه ۴/۷، ۴ و ۱/۷ درصد کاهش داشت. همچنین در دوره آینده میانگین تعداد و وزن دانه در استان کرمانشاه کاهش یافت به طوری که تحت RCP4.5 این کاهش به ترتیب برابر با ۵۶/۵ و ۳۱/۸ درصد بود و تحت

منابع

1. 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>
2. 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>
3. Alexandrov, V.A., and Hoogenboom, G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agric. For. Meteorol.*, 104: 315- 327.
4. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K.M., Kisekka, I., and Martorano, L.G. 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. *Agric. For Meteorol.*, 214: 252-265.
5. Bannayan, M., Kobayashi, K., Kim, H.Y., Lieffering, M., Okada, M., and Miura, S. 2005. Modeling the interactive effects of atmospheric CO₂ and N on rice growth and yield. *Field Crops Res.*, 93: 237-251.
6. Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.L., Fichet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J., and Wehner, M. 2013. Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Doschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M. Eds. Cambridge University Press, Pp: 1029-1136.
7. 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 Physiol.*, 94: 665-670.
8. 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. *EJCP.*, 8(4): 203-224. (In Persian)
9. Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. 2015. Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extrem.*, 10: 4-10.
10. Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., and Tsuji, G.Y. (Editors). 2003. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview*. University of Hawaii, Honolulu, HI.
11. Huang, J.K., Pray, C., and Rozelle, S. 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature.*, 48: 678- 684.

12. Hulme, M., Barrow, E.M., Arnell, N.W., Harisson, P.A., Jones, T.C., and Dowing, T.E. 1999. Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. *Nature.*, 397: 688- 691.
13. IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 996p.
14. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., and Smith, C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.*, 18: 267– 288.
15. Liu, Z., Hubbard, K.G., Lin, X., and Yang, X. 2013. Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. *Glob. Change Biol.*, 19 (11): 3481-3492.
16. Mera, R.J., Niyogi, D., Buol, G.S., Wilkerson, G.G., and Semazzi, F.H.M. 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. *Global Planet. Change.*, 54: 163–182.
17. Meza, F.J., Silva, D., and Vigil, H. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agric. Sys.*, 98: 21–30.
18. Ministry of Agriculture Jihad, 2013. Agricultural statistics. Iranian Ministry of Agriculture Jihad, Department of Planning and Economically, Center of Information and Communication Technology, first volume, Iran. (In Persian)
19. Moini, S., Javadi, S., and Dehghan Manshadi, M. 2011. Feasibility study of solar energy in Iran and preparing radiation atlas. *Recent Advances in Environment, Energy Systems and Naval Science. 4th International Conference of Environmental and Geological Science and Engineering.* Greece. 1-7.
20. Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Mansoori, H. 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: Irrigation and planting data management. *Mitig. Adapt. Strat. Gl.*, 18: 265-284.
21. Morison, J.I.L., and Morecroft, M.D. 2006. *Plant Growth and Climate Change.* Blackwell Publisher, Oxford, England, 213p.
22. Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., and Wilbanks, T. 2010. The next generation of scenarios for climate change. *The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature.*, 463(7282): 747-756.
23. Prescott, J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *T. Roy. Soc. South Aust.*, 64(1): 114-118.
24. R Core Team 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
25. Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Kambouzia, J., Nazariyan Firuzabadi, F., and Eyni Nargeseh, H. 2015d. The effect of sowing date on grain yield, yield components and growth physiological indices of six grain maize cultivars in Iran. *J. Agroecology.*, 5(1): 72- 83 (In Persian)
26. Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Kambouzia, J., Nazariyan Firuzabadi, F., and Eyni Nargeseh, H. 2015c. Determination of genetic coefficients of some maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for application in crop simulation models. *Iran. J. Field Crops Res.*, 13(2): 328-339. (In Persian)
27. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., and Deihimfard, R. 2017b. Estimation of parameters for some dominant maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for using in APSIM mechanistic model. *EJCP.*, 10(1): 129-147. (In Persian)

28. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., and Deihimfard, R. 2018a. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agric. For. Meteorol.*, 253: 1-14.
29. Rowhani, P., Lobell, D.B., Linderman, M., and Ramankutty, N. 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agric. For. Meteorol.*, 151: 449-460.
30. Ruane, A.C., Cecil, L.D., and Horton, R.M. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agric. For. Meteorol.*, 170: 132–145.
31. Seifert, E. 2014. OriginPro 9.1: Scientific data analysis and graphing software—software review. *J. Chem. Inf. Model.*, 54: 1552–1552.
32. Wang, J., Wang, E., Luo, Q., and Kirby, M. 2009. Modeling the sensitivity of wheat growth and water balance to climate change in Southeast Australia. *Clim. Change.*, 96: 79–96.
33. Wayne, G.P. 2013. The beginner's guide to representative concentration pathways. *Skeptical Sci.*, URL: [http://www.skepticalscience.com/docs/RCP Guide](http://www.skepticalscience.com/docs/RCP%20Guide).
34. Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., and Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TGCIA. Aug 27.
35. Zheng, B., Chenu, K., Dreccer, M.F., and Chapman, S.C. 2012. Breeding for the future: what are the potential impacts of future frost and heat events on sowing and flowering time requirements for Australian bread wheat (*Triticum aestivium*) varieties? *Glob. Change Biol.*, 18: 2899–2914.

