

ارزیابی ریسک ناشی از تنش گرما در ذرت دانه‌ای استان خوزستان تحت شرایط تغییر اقلیم

سجاد رحیمی مقدم^۱، جعفر کامبوزیا^۲، رضا دیهیم فرد^{۳*}

۱. دانش‌آموخته دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۱

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی ریسک ناشی از تنش گرما در ذرت دانه‌ای استان خوزستان تحت شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم در شش شهرستان از استان خوزستان انجام شد. بدین منظور، ابتدا اقلیم آینده این شهرستان‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی بلندمدت دوره پایه و با استفاده از روش AgMIP تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تولید شدند و سپس از مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین دما در طول فصل رشد ذرت در استان خوزستان تحت RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه (۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد) به ترتیب ۸/۵ و ۳۴/۵۷ درصد افزایش داشت. با در نظر گرفتن متوسط کل استان، میانگین عملکرد و تعداد دانه در مترمربع در دوره پایه ۸/۸ تن در هکتار و ۲۳۰۵/۷ دانه در مترمربع بود. این مقدار در سال ۲۰۵۰ تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب به ۸/۵ و ۸/۷ تن در هکتار و ۲۲۲۷/۳ و ۲۲۵۴/۳ دانه در مترمربع کاهش یافتند. با در نظر گرفتن متوسط همه تاریخ کاشت‌ها، مناطق و دوره‌های آینده تغییر اقلیم در استان خوزستان، احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی، عملکرد غیراقتصادی و عملکرد صفر به ترتیب ۴۵/۴، ۱۳/۵ و ۴۱/۲ درصد است. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تاریخ کاشت مرسوم در منطقه (سی‌ام بهمن) تاریخ کاشت مناسبی برای دوره پایه و آینده نیست و تاریخ کاشت زود هنگام (دوازده بهمن) در اکثر مناطق می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سازگاری مؤثر برای کاهش ریسک ناشی از افزایش دماهای حدی هم در دوره پایه و هم در دوره آینده در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تعداد دانه، عملکرد دانه، AgMIP، تاریخ کاشت، تغییر اقلیم.

مقدمه

Lobell and Burke, (et al., 2013). لابل و بارکی (2010) نشان دادند که افزایش دو درجه سانتی‌گراد نتایج بزرگتری در کاهش عملکرد ذرت در مقایسه با ۲۰ درصد کاهش بارندگی دارد. در مطالعه‌ای دیگر در تانزانیا نشان داده شد که افزایش دما نسبت به تغییرات درون فصلی بارندگی تأثیرات بزرگی در راستای کاهش عملکرد ذرت دارد به‌طوری‌که افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد عملکرد ذرت را ۱۳ درصد کاهش داد در صورتی با ۲۰ درصد افزایش تغییرات درون فصلی بارندگی، عملکرد ذرت فقط ۴/۲ درصد کاهش یافت (Rowhani et al., 2011).

گرمایش جهانی به‌طور مستقیم روی تولید کشاورزی و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد (Ainsworth and Ort, 2010). دما سرعت فرآیندهای سوخت و سازی گیاه را که در نهایت بر تولید بیوماس و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارند، کنترل می‌کند (Hay and Walker, 1989). دماهای بالا همچنین ریسک خشکی، محدودیت سرعت فتوسنتز و کاهش تشعشع جذبی را از طریق افزایش سرعت نمو، افزایش می‌دهند (Tubiello et al., 2007).

تنش گرمای ناشی از تغییر اقلیم در آینده به‌احتمال زیاد به محدودیت‌هایی برای تولید ذرت تبدیل می‌شود (Cairns

به‌گونه‌ای که سهم عمده‌ای در تأمین غذای بسیاری از مردم جهان دارد (Jans et al., 2010). حدود ۴۰ درصد غذای جهان و ۲۵ درصد کالری مصرفی در کشورهای در حال توسعه توسط ذرت تأمین می‌شود. از طرف دیگر ذرت یکی از گیاهان علوفه‌ای مهم در دنیا است. در ایران نیز، این گیاه پس از گندم (*Triticum aestivum* L.) برنج (*Oryza sativa* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی بوده و بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. استان خوزستان دارای بیشترین سطح زیر کشت ذرت و در جایگاه نخست تولید ذرت دانه‌ای در کشور قرار دارد به طوری که ۳۷/۷ درصد سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای و ۳۴/۷۶ درصد تولید این محصول در کل کشور متعلق به این استان است (Iranian Ministry of Agriculture Jihad, 2013). بر این اساس و با توجه به تأثیر تغییرات اقلیمی بر کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای در این استان (Abbas Torki et al., 2011) این تحقیق در راستای ارزیابی ریسک ناشی از تنش گرما در ذرت دانه‌ای استان خوزستان تحت تاریخ کاشت‌های مختلف و شرایط افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

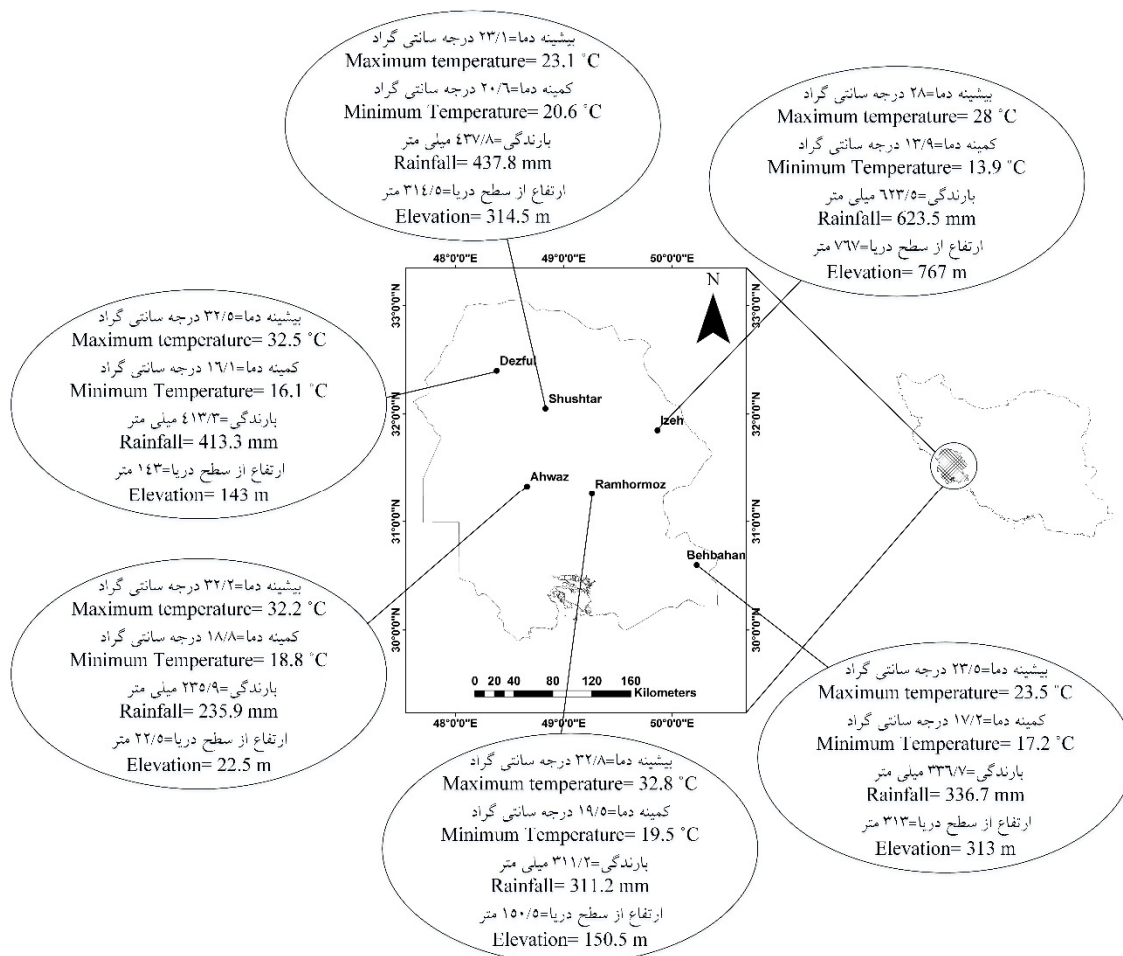
مناطق مورد مطالعه در استان خوزستان

استان خوزستان با آب و هوایی گرم و مرطوب در جنوب غرب ایران بین طول‌های جغرافیایی ۳۲° ۴۷ تا ۳۹° ۵۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۵۷° ۲۹ تا ۳۳° ۰۰ شمالی واقع شده است. بر اساس آمار معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی، حدود ۸۵ درصد از وسعت استان خوزستان دارای اقلیم فراهشک، خشک و نیمه‌خشک است. به‌طور کلی از ویژگی‌های بارز اقلیم این استان می‌توان به خشکی، بالا بودن دما میزان تبخیر سطحی و پایین بودن میزان نزولات جوی و شوری خاک اشاره کرد. در این تحقیق شش منطقه شامل اهواز، بهبهان، دزفول، ایذه، رامهرمز و شوشتر در استان خوزستان انتخاب شدند (شکل ۱). معیار انتخاب این مناطق سطح زیر کشت ذرت و تنوع آب و هوایی در سطح استان خوزستان بوده است.

تنش گرما در ذرت از طریق کوتاه کردن چرخه زندگی گیاه (Muchow et al., 1990)، کاهش تشعشع جذبی (Stone, 2001)، افزایش تنفس، کاهش فتوسنتز (-Crafts Brander and Salvucci, 2002) و عقیمی دانه گرده (Schoper et al., 1987a, b) عملکرد دانه ذرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آسیب تنش گرما زمانی که در مراحل حساس نمو گیاه به‌ویژه مرحله رشد زایشی رخ می‌دهد بسیار شدید است (Teixeira et al., 2013). مطالعات بسیاری نشان می‌دهند که افزایش دما در طول دوره گلدهی ذرت از طریق کاهش باروری و زنده ماندن گرده، عملکرد دانه این گیاه را کاهش می‌دهد (Dupuis and Dumas, 1990; Hatfield and Prueger, 2015).

عدم هم‌زمانی دوره حساس گلدهی با دماهای بالا می‌تواند به کاهش اثرات سوء تنش گرما به‌ویژه در شرایط تغییر اقلیم کمک شایانی کند (Rahimi Moghaddam et al., 2018). در این راستا تغییر روش‌های مدیریتی مانند استفاده از تاریخ کاشت‌های زود هنگام (Rahimi Moghaddam et al., 2018; Zheng et al., 2012; Liu et al., 2013) برای فرار از تنش گرما و کاهش ریسک تولید به‌ویژه در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند در نظر گرفته شوند. در تحقیق وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) نشان داده شد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام باعث کاهش اثرات منفی حاصل از افزایش دما بر روی عملکرد گیاه زراعی می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر توسط رحیمی‌مقدم و همکاران (Rahimi Moghaddam et al., 2018) در جنوب ایران استراتژی‌های سازگاری برای ارقام ذرت در شرایط تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت. این استراتژی‌ها شامل ارقام مختلف و مدیریت تاریخ کشت بود. نتایج این بررسی نشان داد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام 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.

در میان گیاهان زراعی مختلف، ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در جهان محسوب می‌شود



شکل ۱. خصوصیات اقلیمی بلندمدت (دوره پایه، ۲۰۰۹-۱۹۸۰) مناطق مورد مطالعه و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در استان خوزستان.
Fig. 1. Long-term (1980- 2009) climatic properties of the study locations and their geographical positions in Khuzestan province.

جمع‌آوری داده‌های اقلیمی

داده‌های اقلیمی بلندمدت مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای کمینه و بیشینه (°C)، بارندگی (mm) و تشعشع روزانه (برای دوره پایه، ۲۰۰۹-۱۹۸۰) بودند که از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند. این داده‌ها به‌عنوان ورودی مدل اقلیمی و مدل شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی (مدل APSIM) مورد استفاده قرار گرفتند. به دلیل این‌که در ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی از ماه‌های سال داده‌ی هواشناسی ثبت‌نشده و در برخی موارد داده‌های پرت وجود دارد داده‌های پرت و گم‌شده در ایستگاه‌های مختلف با استفاده از برنامه WeatherMan^۱ (Hoogenboom et al., 2003) اصلاح و بازسازی شد. با توجه به این‌که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تابش روزانه ثبت نمی‌شود، با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی،

تابش روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم (Prescott, 1940) تخمین زده شد. در این تحقیق مقدار پارامترهای a و b (ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی) برای مناطق مختلف استان خوزستان به ترتیب ۰/۳۱۷ و ۰/۳۸۶ در نظر گرفته شد (Moini et al., 2011).

سناریوهای اقلیمی مورد استفاده و روش AgMIP

سناریوهای اقلیمی آینده بر اساس داده‌های اقلیمی دوره پایه (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش) تحلیل شدند. سناریوهای اقلیمی در این تحقیق با استفاده از روش سناریوی دلتا در مدل‌های گردش عمومی CMIP5 و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی (کدهای نوشته‌شده به زبان R) که توسط AgMIP^۲ ارائه شده است تولید شدند

² The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project

¹ Weather Data Manager

کاشت دوازدهم بهمن، سی‌ام بهمن (تاریخ کاشتی که در حال حاضر توسط کشاورزان منطقه بکار برده می‌شود) و چهاردهم اسفند بودند. رقم مورد استفاده در این تحقیق رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. این رقم بیشترین سطح زیر کشت را در استان خوزستان دارد به طوری که بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در استان خوزستان را شامل می‌شود.

مدل شبیه‌سازی مورد استفاده

در این تحقیق از مدل APSIM استفاده شد. مدل APSIM توسط محققین استرالیایی طراحی شده است و از قدرت بالایی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی برخوردار است. ماژول ذرت در این مدل، رشد و نمو ذرت را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند و به عوامل مختلف از جمله آب‌وهوا (دما، بارندگی، تابش)، خاک (آب خاک و نیتروژن خاک)، پارامترهای ژنتیکی و اطلاعات مدیریتی محصول زراعی پاسخ نشان می‌دهد (Keating et al., 2003). 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 خوزستان است واسنجی و اعتبارسنجی شده است به طوری که نتایج واسنجی و اعتبارسنجی از دقت بالایی برخوردار بود (Rahimi-Moghaddam et al., 2016; Rahimi-Moghaddam et al., 2018).

تعیین ریسک ناشی از تنش گرما برای ذرت و

تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای بررسی ریسک ناشی از تنش گرما در ذرت، توجه به زمان، فراوانی و میزان (شدت) دماهای آستانه خاص گیاه در مراحل نمو حساس آن بسیار ضروری است (Teixeira et al., 2013). در ذرت، گلدهی و تشکیل دانه حساس‌ترین مرحله به استرس دمای بالا است (Dupuis and Dumas, 2015; Hatfield and Prueger, 1990). در این تحقیق زمان گلدهی به عنوان مهم‌ترین مرحله حساس به دمای بالا در نظر گرفته شد. این مرحله به دماهای بیشینه بالاتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد حساس است و دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در مدل APSIM برای شبیه‌سازی استرس دماهای بالا در مرحله گلدهی بر ذرت در نظر گرفته شده است و اثرات آن

(Wilby et al., 2004; AgMIP, 2013a,b; Ruane et al., 2015). مدل‌های GCM ارائه شده در فاز CMIP5 در مقایسه با فاز CMIP3 از کیفیت مکانی بالاتری برخوردار هستند (Marengo et al., 2014). بنابراین استفاده از مدل‌های GCM ارائه شده در فاز CMIP5 در مقایسه با فاز CMIP3 دارای دقت بالاتری هستند به طوری که قدرت تفکیک مکانی سری CMIP5 (۵٪ در ۵ درجه) نسبت به CMIP3 (۵٪ در ۲/۵ درجه) بسیار بالاتر است.

روش دلتا تولید سناریو اقلیمی، با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیمی و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارندگی استوار است (Wilby et al., 2013; Ruane et al., 2004). پیش‌بینی آب و هوایی آینده برای استان خوزستان با استفاده از مدل گردش عمومی Miroc5³ که در بین سایر مدل‌های گردش عمومی بیشترین دقت را در بازتولید داده‌های اقلیمی استان خوزستان داشت، صورت گرفت (Dashtbozorgi et al., 2015). داده‌های اقلیمی آینده برای یک دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۹) تحت دو سناریوی اقلیمی (RCP4.5 و RCP8.5) با استفاده از روش توصیه شده توسط AgMIP (AgMIP, 2013a,b) تولید شدند. در روش توصیه شده توسط AgMIP همان‌طور که در بالا ذکر گردید از برنامه R استفاده می‌شود به این صورت که از یک بسته نرم‌افزاری که توسط موسسه AgMIP به زبان برنامه‌نویسی R ارائه شده است استفاده می‌شود. این بسته نرم‌افزاری بر روی نرم‌افزار R قابل نصب است. بعد از نصب این بسته نرم‌افزاری داده‌های اقلیمی دوره پایه شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش به فرمت مورد نیاز تهیه شده و به عنوان ورودی وارد نرم‌افزار مورد نظر می‌شوند. سپس با تعیین دوره و سناریو می‌توان داده‌های اقلیمی آینده را تولید کرد.

آزمایش‌ها و تیمارهای شبیه‌سازی

آزمایش‌های بلندمدت شبیه‌سازی متشکل از یک رقم، سه تاریخ کاشت، شش منطقه، یک دوره پایه و یک دوره آینده [تحت دو سناریوی اقلیمی (RCP4.5 و RCP8.5) و متوسط ۳۰ سال] بودند که در مجموع ۱۶۲۰ آزمایش شبیه‌سازی با مدل انجام گرفت. تاریخ کاشت‌ها شامل سه تاریخ

³ Model for Interdisciplinary Research On Climate

بیشترین افزایش دما با ۴/۱ درجه سانتی‌گراد مربوط به شهرستان رامهرمز در تاریخ کاشت چهاردهم اسفند تحت RCP8.5 بود (جدول ۱). این در حالی بود که بیشترین افزایش دما در طول فصل رشد تحت RCP4.5 مربوط به شهرستان شوشتر با ۲/۹ درجه سانتی‌گراد در تاریخ کاشت سی‌ام بهمن به دست آمد (جدول ۱). این شهرستان همچنین افزایش دمای بالایی در طول فصل رشد (۳/۹ درجه سانتی‌گراد) تحت RCP8.5 در این تاریخ کاشت به خود اختصاص داد. کمترین افزایش دما با ۱/۸ و ۲/۴ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5 مربوط به شهرستان بهبهان در تاریخ کاشت دوازدهم بهمن بود (جدول ۱). بسیاری از مطالعات نشان‌دهنده افزایش دما در طول فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم هستند (Zheng et al., 2012; Liu et al., 2013). در تحقیق ژنگ و همکاران (Zheng et al., 2012) به‌طورکلی تحت سناریوهای مختلف در همه‌ی مناطق و تاریخ‌های کاشت میانگین دما در طول فصل رشد گندم (می تا اکتبر) افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش دما در طول فصل رشد از ۰/۶۱ تا ۳/۱۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به منطقه روما، کوئیزلند بود همچنین کمترین افزایش دما در طول فصل رشد با ۰/۴۵ تا ۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد مربوط به منطقه کامینز بود.

عملکرد و تعداد دانه در دوره پایه و آینده

به‌طورکلی (در تمام مناطق) میانگین عملکرد و تعداد دانه استان خوزستان در دوره پایه ۸/۸ تن در هکتار و ۲۳۰۵/۷ دانه در مترمربع بود. در بین شهرستان‌های مختلف ایذه با میانگین ۱۱/۴ تن در هکتار و ۳۰۵۱/۸ دانه در مترمربع بیشترین و شوشتر با میانگین ۶ تن در هکتار و ۱۵۲۳/۷ دانه در مترمربع کمترین عملکرد و تعداد دانه را در دوره پایه داشتند. دامنه‌ی عملکرد و تعداد دانه در تمام مناطق، تاریخ‌های کاشت و سال‌ها در دوره پایه از صفر تا ۱۶ تن عملکرد دانه و صفر تا ۴۹۳۲/۹ دانه در مترمربع متفاوت بود. به‌رحال در دوره پایه بالاترین عملکرد و تعداد دانه به ترتیب با ۱۳/۷ تن در هکتار و ۳۷۰۵/۶ دانه در مترمربع مربوط به تاریخ کاشت دوازدهم بهمن در شهرستان ایذه و کمترین عملکرد و تعداد دانه با عدم تشکیل دانه و عملکرد دانه مربوط به شهرستان شوشتر در تاریخ کاشت چهاردهم اسفند بود (شکل ۱).

در یک دوره ۱۰ روزه قبل و بعد از گلدهی اتفاق می‌افتد (Singh et al., 2015; GL. Hammer, pers. comm.) بنابراین برای در نظر گرفتن اثر فراوانی دماهای بالا بر گیاه ذرت تعداد روزهای با دمای بالاتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گلدهی در نظر گرفته شد. همچنین برای در نظر گرفتن تأثیر میزان (شدت) دماهای بالا، میانگین بیشینه دما در طول دوره گلدهی محاسبه شد. در این تحقیق همچنین برای درک بهتر اثرات دماهای بالا بر عملکرد دانه، عملکرد اقتصادی (عملکرد اقتصادی با توجه به مکانبه با سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان ۴/۵ تن در هکتار و بالاتر است)، عملکرد غیراقتصادی (عملکرد غیراقتصادی کمتر ۴/۵ تن در هکتار است) و عملکرد صفر (در برخی سال‌ها) از هم تفکیک شدند. در این مطالعه برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار OriginPro 9.1 (Seifert, 2014) و R (R Core Team, 2016) استفاده گردید.

نتایج و بحث

تغییرات دما در طول فصل رشد در دوره پایه و آینده

در این تحقیق میانگین ۳۰ سال دمای طول فصل رشد در تمامی تیمارها توسط مدل شبیه‌سازی شد. به‌طور میانگین (در تمام مناطق و تاریخ کاشت‌ها) میانگین دما در طول فصل رشد در دوره پایه ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد بود. باین‌وجود دامنه تغییرات میانگین دما در طول فصل رشد با توجه به سال (در تمام مناطق و تاریخ کاشت‌ها) از ۱۰/۹ تا ۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد نوسان داشت. این در حالی بود که در دوره پایه، بیشترین میانگین دما در طول فصل رشد (۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد) مربوط به شهرستان شوشتر در تاریخ کاشت دوازدهم بهمن به دست آمد (جدول ۱). همچنین کمترین میانگین دما در طول فصل رشد (۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد) در این دوره مربوط به شهرستان ایذه در تاریخ کاشت دوازدهم بهمن بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو سناریوی آینده، میانگین دما در طول فصل رشد در شهرستان‌های مختلف روند افزایشی نسبت به دوره پایه خواهد داشت (جدول ۱). به‌طورکلی در استان خوزستان تحت RCP4.5 و RCP8.5 میانگین دما در طول فصل رشد به ترتیب ۲۹/۵ و ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد بود که نسبت به دوره پایه ۸/۵ و ۳۴/۵۷ درصد افزایش داشت. این افزایش دما در طول فصل در مناطق و تاریخ کاشت‌های مختلف متفاوت بود به‌طوری‌که

جدول ۱. متوسط افزایش در میانگین دمای طول فصل رشد در شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت‌های مختلف تحت دو سناریو اقلیمی (RCP4.5 و RCP8.5) نسبت به دوره پایه.

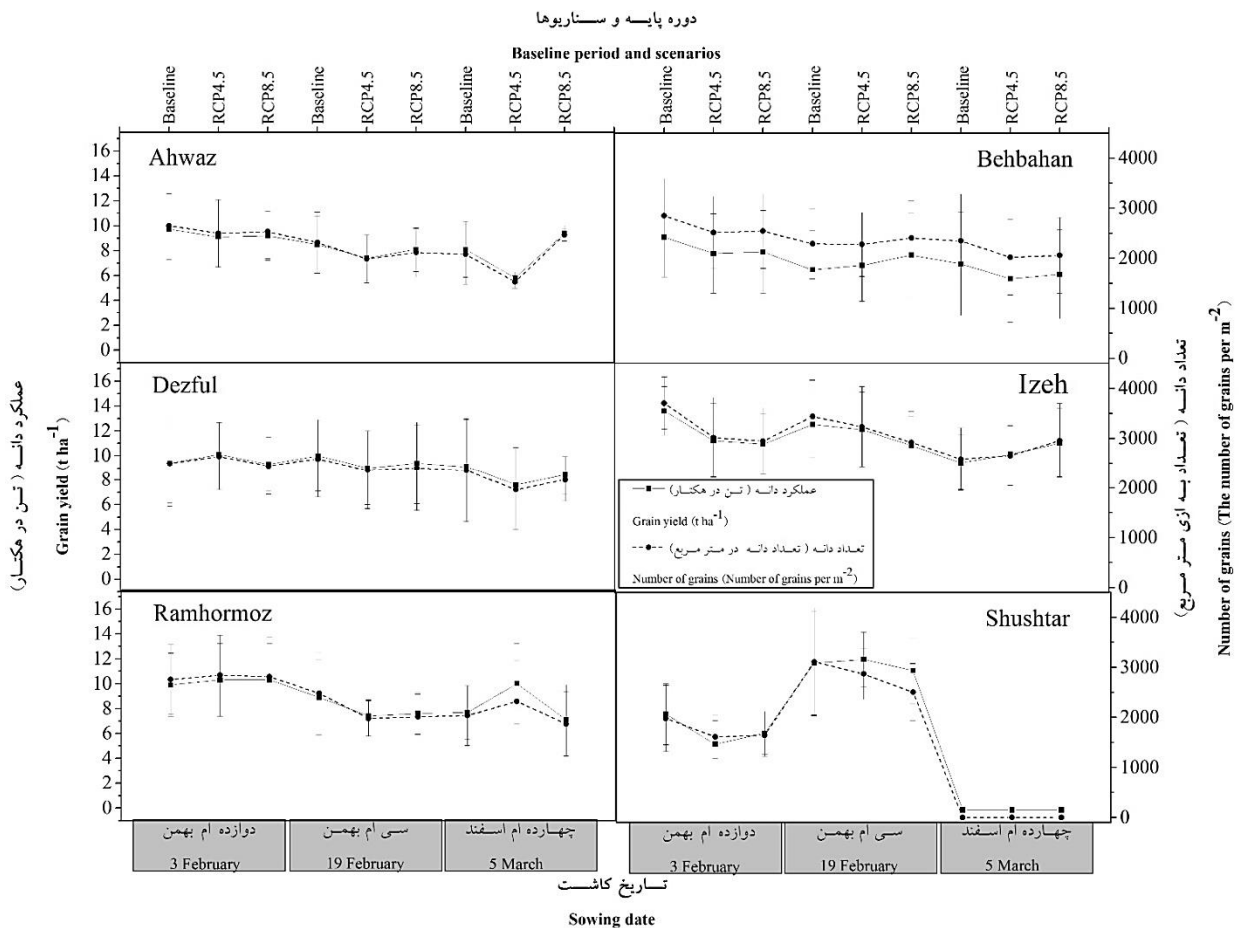
Table 1. The average increase in mean temperature during the growing season at locations in different sowing dates under two climatic scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) compared to the baseline.

منطقه Location	تاریخ کاشت Sowing date	دوره پایه Baseline میانگین ۳۰ ساله دما در طول فصل رشد (درجه سانتی‌گراد) 30-year average temperature during the growing season (°C)	افزایش میانگین دما نسبت به دوره پایه (درجه سانتی‌گراد) Increase in mean temperature compared to the baseline (°C)	
			RCP4.5	RCP8.5
اهواز Ahwaz	دوازدهم بهمن 3 February	25.7	+1.9	+2.7
	سی‌ام بهمن 19 February	27.8	+2.2	+3.2
	چهاردهم اسفند 5 March	29.7	+2.6	+3.8
بهبهان Behbahan	دوازدهم بهمن 3 February	24.7	+1.8	+2.4
	سی‌ام بهمن 19 February	26.6	+2	+2.8
	چهاردهم اسفند 5 March	28.4	+2.3	+3.1
دزفول Dezful	دوازدهم بهمن 3 February	23.6	+2.7	+3.3
	سی‌ام بهمن 19 February	25.9	+2.6	+3.3
	چهاردهم اسفند 5 March	28.1	+2.4	+3.3
ایذه Izeh	دوازدهم بهمن 3 February	20.8	+2.1	+2.7
	سی‌ام بهمن 19 February	22.9	+2	+2.7
	چهاردهم اسفند 5 March	24.4	+2.2	+2.9
رامهرمز Ramhormoz	دوازدهم بهمن 3 February	25.7	+1.9	+2.7
	سی‌ام بهمن 19 February	27.7	+2.3	+3.5
	چهاردهم اسفند 5 March	29.6	+2.8	+4.1
شوشتر Shushtar	دوازدهم بهمن 3 February	30.5	+2.7	+3.7
	سی‌ام بهمن 19 February	32.7	+2.9	+3.9
	چهاردهم اسفند 5 March	34.5	+2.5	+3.3

دادند به طوری که بالاترین عملکرد و تعداد دانه (۱۲/۲ تن در هکتار و ۳۲۳۴/۵ دانه در مترمربع در RCP4.5 و ۱۱/۱ تن در هکتار و ۲۹۵۴/۸ دانه در مترمربع در RCP8.5) در شهرستان ایذه در تاریخ کاشت سی‌ام بهمن (RCP4.5) و چهاردهم اسفند (RCP8.5) به دست آمد. همچنین با عدم تشکیل عملکرد و تعداد دانه (در هر دو سناریو) در تاریخ کشت چهاردهم اسفند در شهرستان شوشتر کمترین عملکرد مربوط به این شهرستان بود (شکل ۲).

در شهرستان ایذه درصد تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گله‌ی نسبت به شهرستان‌های دیگر کمتر است به طوری که کمترین تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گله‌ی با ۱۳/۹ درصد مربوط این شهرستان در دوره پایه و تاریخ کاشت دوازدهم بهمن است (جدول ۲ و شکل ۲).

نتایج نشان داد که به طور متوسط عملکرد دانه و تعداد دانه ذرت در استان خوزستان در سال ۲۰۵۰ تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۸/۵ و ۸/۷ تن در هکتار (۳/۴ و ۱/۲ درصد کاهش نسبت به دوره پایه) و ۲۲۲۷/۳ و ۲۲۵۴/۳ دانه در مترمربع (به ترتیب ۳/۴ و ۲/۳ درصد کاهش نسبت به دوره پایه) است (شکل ۱). باین حال این کاهش در مناطق مختلف یکسان نبود به طوری که بیشترین کاهش عملکرد دانه و تعداد دانه با ۱۵/۲ (عملکرد دانه) و ۱۴/۷ درصد (تعداد دانه) در RCP4.5 مربوط به شهرستان اهواز بود. همچنین در RCP8.5 بیشترین کاهش عملکرد دانه و تعداد دانه با ۱۰/۸ (عملکرد دانه) و ۱۸/۵ درصد (تعداد دانه) مربوط به شهرستان اهواز بود. به طوری که در دوره آینده نیز شهرستان‌های ایذه و شوشتر به ترتیب بالاترین و کمترین عملکرد و تعداد دانه را به خود اختصاص



شکل ۲. عملکرد و تعداد دانه شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت‌های مختلف در دوره پایه و آینده. هر نقطه میانگین عملکرد (اقتصادی) و تعداد دانه است.

Fig. 2. Grain yield and the number of grains in all locations at different sowing dates in the baseline and future periods. Each point is average of economic grain yield and the number of grain/m².

جدول ۲. درصد تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گلدهی و میانگین دما در طول دوره گلدهی در دوره‌های اقلیمی پایه و آینده در شهرستان‌های مورد مطالعه و تاریخ کاشت‌های مختلف.

Table 2. Percent of the number of flowering days with temperatures above 36 °C and mean temperature during the flowering period in all locations at different sowing dates in the baseline and future periods.

منطقه Location	تاریخ کاشت Sowing date	میانگین دما در طول دوره گلدهی Mean temperature during the flowering period			درصد تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گلدهی Percent of the number of flowering days with temperatures above 36 °C		
		دوره پایه (Baseline)	RCP4.5	RCP8.5	دوره پایه (Baseline)	RCP4.5	RCP8.5
اهواز Ahwaz	دوازدهم بهمن 3 February	35.3	36.1	36.5	41.7	50	63.6
	سی‌ام بهمن 19 February	36.8	37.9	38.3	60.6	77.4	93.3
	چهاردهم اسفند 5 March	38.5	40.1	40.6	86.7	100	100
بهبهان Behbahan	دوازدهم بهمن 3 February	35.9	36.4	36.6	55.9	46.9	56.3
	سی‌ام بهمن 19 February	37.2	38.1	38.4	75	72.4	83.3
	چهاردهم اسفند 5 March	39	40	40.4	100	93.3	100
دزفول Dezful	دوازدهم بهمن 3 February	35.4	35.9	35.9	42.4	41.2	48.5
	سی‌ام بهمن 19 February	36.7	37.8	38	61.3	66.7	77.7
	چهاردهم اسفند 5 March	38.6	40	40.3	84.4	96.7	96.8
ایذه Izeh	دوازدهم بهمن 3 February	34	33.5	35.3	13.9	34.3	41.7
	سی‌ام بهمن 19 February	35.2	35.1	36.9	28.6	51.5	69.6
	چهاردهم اسفند 5 March	36.6	37.3	37.3	44.1	72.7	68.8
رامهرمز Ramhormoz	دوازدهم بهمن 3 February	35.1	36	36.3	43.2	51.4	52.9
	سی‌ام بهمن 19 February	37.1	38.1	38.3	64.7	71.9	80.6
	چهاردهم اسفند 5 March	38.5	39.8	40.4	87.1	93.1	100
شوشتر Shushtar	دوازدهم بهمن 3 February	38.5	40	40.3	80.6	80	96.6
	سی‌ام بهمن 19 February	41.4	44	44.5	100	100	100
	چهاردهم اسفند 5 March	43.8	46.6	47.3	100	100	100

مقدار این صفت را به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5 داشت (جدول ۲). همچنین با توجه به جدول ۲ در طول دوره گلدهی ۱۰۰ درصد روزها در شهرستان شوشتر در

در دوره آینده نیز شهرستان ایذه در تاریخ کاشت دوازدهم بهمن با ۳۴/۳ و ۴۱/۷ درصد تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گلدهی کمترین

احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی، عملکرد غیراقتصادی و عملکرد صفر به ترتیب ۵۳/۱، ۱۴/۳ و ۳۲/۶ درصد است. این در حالی هست که به‌طور میانگین تاریخ کاشت دوازدهم بهمن (احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی، غیراقتصادی و صفر به ترتیب ۷۱/۷، ۸/۹ و ۱۹/۴ درصد) نسبت به دو تاریخ کاشت سی‌ام بهمن (۵۳/۹، ۱۴/۴ و ۳۱/۷ درصد) و چهاردهم اسفند (۳۳/۹، ۱۹/۴ و ۴۶/۷ درصد) دارای احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی بیشتر و احتمال تشکیل عملکرد غیراقتصادی و صفر کمتری است. به‌هرحال بالاترین احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی مربوط به دو تاریخ کاشت دوازدهم بهمن (۹۰ درصد) و تاریخ کاشت سی‌ام بهمن (۹۳ درصد) در شهرستان ایذه بود (شکل ۳). کمترین احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی نیز با صفر درصد مربوط به شهرستان شوشتر در تاریخ کاشت چهاردهم اسفند بود؛ به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که کشت ذرت در شهرستان شوشتر در تاریخ کاشت چهاردهم اسفند دارای بالاترین ریسک تنش گرما می‌باشد (شکل ۲). تاریخ کاشت چهاردهم اسفندماه نیز احتمال ریسک تشکیل غیر عملکرد اقتصادی را افزایش می‌دهد به‌طوری‌که بالاترین احتمال ریسک تشکیل عملکرد غیراقتصادی (۵۰ درصد) مربوط به این تاریخ کاشت در شهرستان اهواز بود (شکل ۳).

در دوره آینده، به‌طورکلی عملکرد اقتصادی کاهش و عملکردهای غیراقتصادی و صفر افزایش نشان داد. به‌طور متوسط عملکرد اقتصادی، عملکرد غیراقتصادی و عملکرد صفر استان خوزستان به ترتیب ۴۳، ۱۱/۹ و ۴۵/۲ درصد (تحت RCP4.5) و ۴۰، ۱۴/۳ و ۴۵ درصد (تحت RCP8.5) بود. در تاریخ کاشت دوازدهم بهمن احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی، غیراقتصادی و صفر به ترتیب ۶۳/۳، ۱۲/۸ و ۲۳/۹ درصد در RCP4.5 و ۶۰/۶، ۱۳/۹ و ۲۵/۶ درصد در RCP8.5 بود؛ مانند دوره گذشته در دوره آینده نیز نسبت به تاریخ کاشت سی‌ام بهمن احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی، غیراقتصادی و صفر به ترتیب ۴۳/۹، ۱۲/۸ و ۴۳/۳ درصد در RCP4.5 و ۴۱/۷، ۱۶/۱ و ۴۲/۲ درصد در RCP8.5 به دست آمد (شکل ۴). ایذه در دوره آینده بالاترین احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی را در دو تاریخ کاشت دوازدهم بهمن (۹۳ و ۸۳/۳ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) و سی‌ام بهمن (۹۳ و ۹۳/۳ درصد به ترتیب تحت RCP4.5 و RCP8.5) داشت (شکل ۴). کمترین احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی نیز با صفر

تاریخ چهاردهم اسفند بالاتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد بوده است که باعث عدم تشکیل عملکرد و تعداد دانه هم در دوره پایه و هم در دوره آینده شده است.

علاوه بر درصد تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد شدت این دماها یعنی مقدار میانگین دما در طول دوره گلدهی نیز بسیار مهم می‌باشد. کمترین میانگین دما در طول دوره گلدهی در دوره پایه، RCP4.5 و RCP8.5 (به ترتیب با مقدارهای ۳۴، ۳۳/۵ و ۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد) مربوط به شهرستان ایذه و تاریخ کاشت دوازدهم بهمن بود (جدول ۲). همچنین بیشترین میانگین دما در طول دوره گلدهی در دوره پایه، RCP4.5 و RCP8.5 (به ترتیب با مقدارهای ۴۳/۸، ۴۶/۶ و ۴۷/۳ درجه سانتی‌گراد) مربوط به شهرستان شوشتر و تاریخ کاشت چهاردهم اسفند بود (جدول ۲). درواقع در شهرستان شوشتر و تاریخ کاشت چهاردهم اسفند دو عامل درصد تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول گلدهی و میانگین دما در طول دوره گلدهی باعث عدم تشکیل دانه و عملکرد دانه شد. افزایش تعداد دماهای حدی^۴ در دوره گلدهی باعث عدم باروری دانه کرده شده که باعث عدم تشکیل دانه و درنهایت تأثیر بر عملکرد دانه می‌شود (Singh et al., 2015). هاو‌کینز و همکاران (Hawkins et al., 2013) در تحقیقی روی تأثیر افزایش تنش گرما بر عملکرد ذرت در فرانسه نشان دادند که کاهش معنی‌دار عملکرد ذرت برای هر روز با بیشینه دمای بالای ۳۲ درجه سانتی‌گراد وجود دارد. مرا و همکاران (Mera et al., 2006) در همین زمینه بیان کردند که افزایش دما بیشترین تأثیر را بر مرحله گل‌دهی ذرت گذاشته و با کاهش درصد و دوره تلقیح گل، درنهایت باعث کاهش عملکرد ذرت می‌شود.

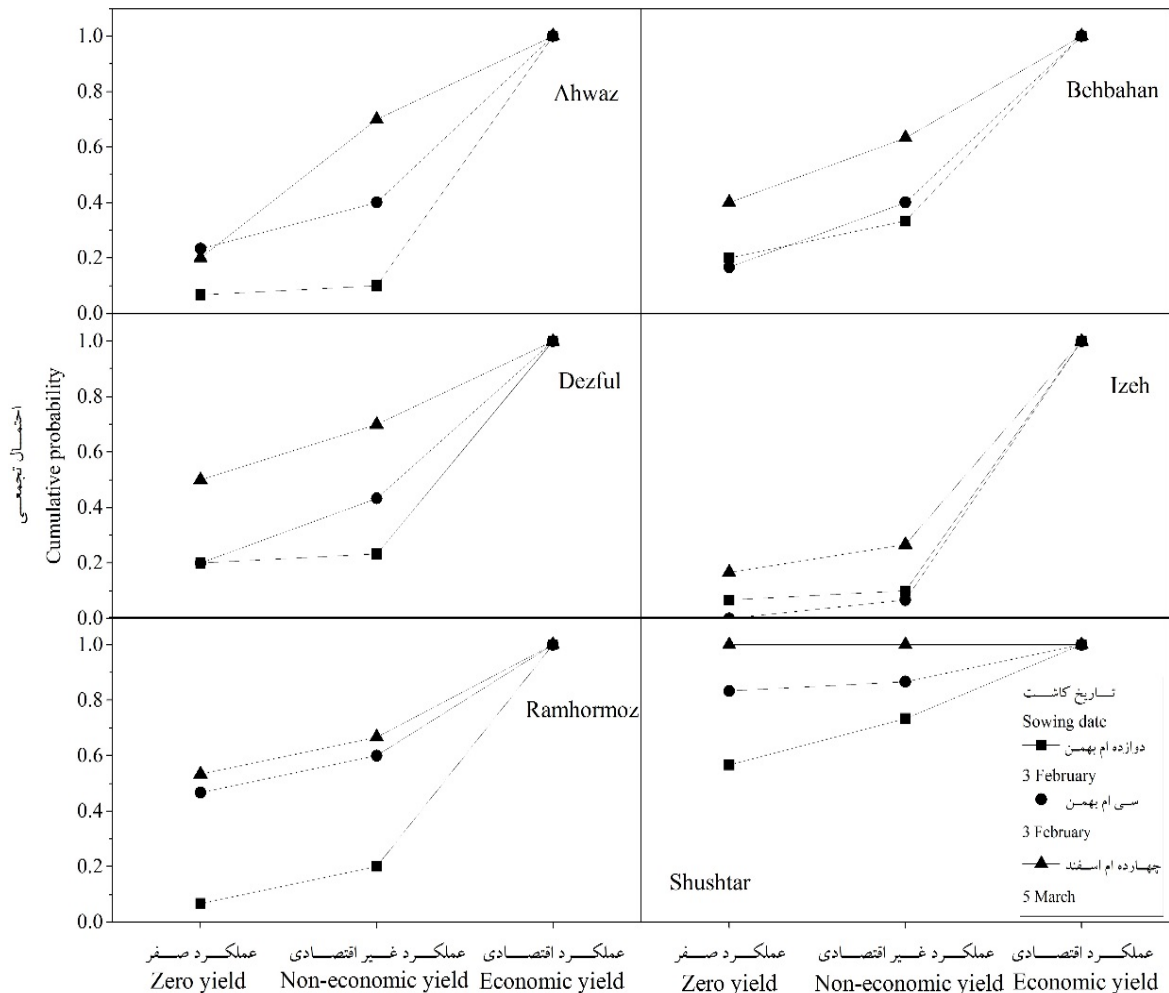
مقایسه ریسک ناشی از تنش گرما در شهرستان‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف در دو دوره پایه و آینده

توزیع احتمال تجمعی عملکرد دانه در دو دوره پایه و آینده نشان داد که تحت تاریخ‌های کاشت و مناطق مختلف عملکردها (صفر، اقتصادی و غیراقتصادی) بسیار متفاوت می‌باشند (شکل ۲). به‌طورکلی در دوره پایه در استان خوزستان تحت تمام تاریخ‌های کاشت در همه‌ی مناطق

^۴ Extreme temperatures

RCP8.5 (۴۳/۳ درصد) به ترتیب مربوط به شهرستان‌های دزفول و رامهرمز در تاریخ کاشت سی‌ام بهمن بود (شکل ۴).

درصد (در هر دو سناریو) مربوط به شهرستان شوشتر در تاریخ کاشت چهاردهم اسفند بود. بالاترین احتمال ریسک تشکیل عملکرد غیراقتصادی تحت RCP4.5 (۳۰ درصد) و

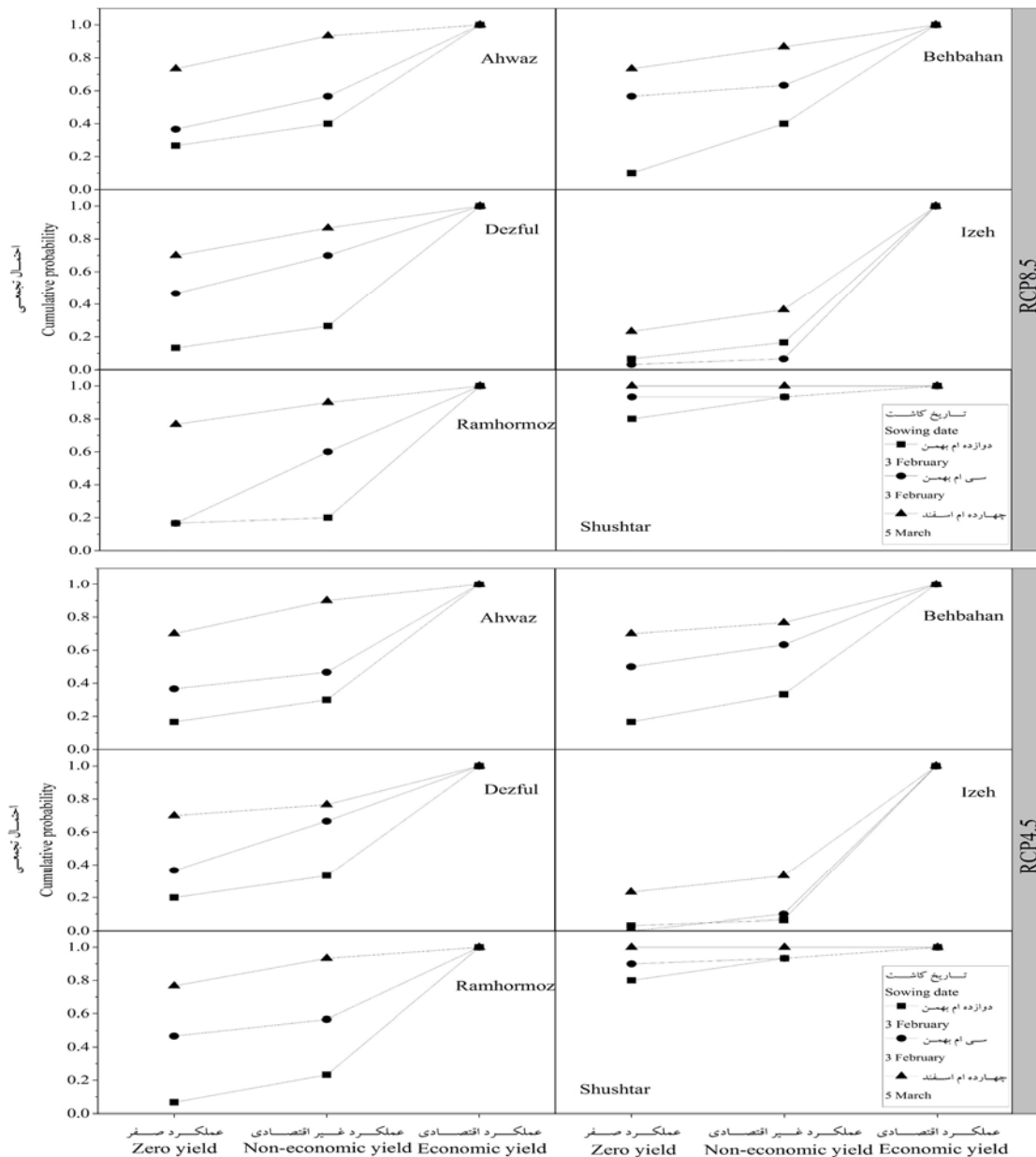


شکل ۳. احتمال تجمعی عملکرد دانه در شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ‌های کاشت مختلف در دوره پایه. عملکرد اقتصادی: عملکرد اقتصادی با توجه به مکاتبه با سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان ۴/۵ تن در هکتار و بالاتر می‌باشد؛ عملکرد غیراقتصادی: عملکرد غیراقتصادی کمتر از ۴/۵ تن در هکتار است.

Fig. 3. Cumulative probability of grain yield in the locations at different sowing dates in the baseline. Economic yield is equal to higher than 4.5 t ha⁻¹ according to correspondence with the Agricultural Jihad Organization of the Khuzestan province in Iran; Non-economic yield was considered as yields lower than 4.5 t ha⁻¹.

به‌طور میانگین تاریخ کاشت دوازدهم بهمن (۶۳/۳) و ۶۰/۶ درصد به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به تاریخ کاشت‌های سی‌ام اسفند (۴۳/۹) و ۴۱/۷ درصد به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) و چهاردهم (۲۱/۷) و ۱۷/۸ درصد به ترتیب در RCP4.5 و RCP8.5) دارای میزان زنده ماندن بیشتری بود.

شاید به توان تأثیر تاریخ کاشت در کاهش ریسک را در شکل ۵ بهتر مشاهده کرد جایی که به‌طور میانگین در آن میزان زنده ماندن ذرت در دوره پایه در تاریخ کاشت زود هنگام دوازدهم بهمن در تمام مناطق برابر با ۷۱/۷ درصد و در تاریخ کاشت‌های سی‌ام بهمن و چهاردهم اسفند به ترتیب ۵۳/۹ و ۳۳/۹ درصد بود. همچنین در دوره آینده



شکل ۴. احتمال تجمعی عملکرد دانه در شهرستان‌های مورد مطالعه در تاریخ‌های کاشت مختلف در دوره آینده. عملکرد اقتصادی: عملکرد اقتصادی با توجه به مکاتبه با سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان ۴/۵ تن در هکتار و بالاتر است؛ عملکرد غیر اقتصادی: عملکرد غیر اقتصادی کمتر از ۴/۵ تن در هکتار می‌باشد.

Fig. 4. Cumulative probability of grain yield in the locations at different sowing dates for future scenarios. Economic yield is equal and higher than 4.5 t ha⁻¹ according to correspondence with the Agricultural Jihad Organization of the Khuzestan province in Iran; Non-economic yield was considered as yields lower than 4.5 t ha⁻¹.

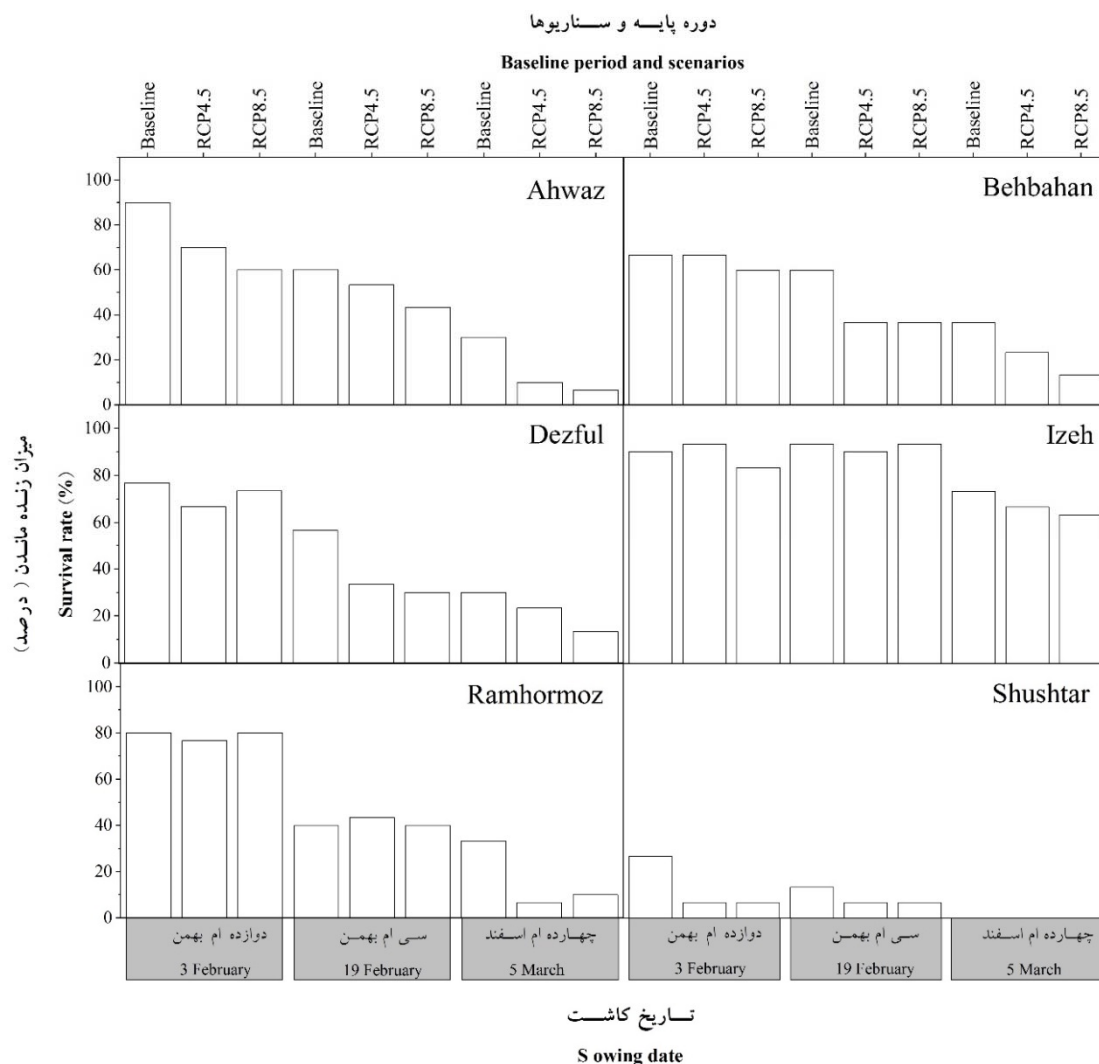
بهمن) برابر با ۸۰ درصد در صورتی که در همین دوره در تاریخ کاشت‌های سی‌ام بهمن و چهاردهم اسفند به ترتیب برابر با ۴۰ و ۱۰ درصد است. علت این موضوع هم‌زمانی زمان گلدهی با دماهای بالا می‌باشد (Dupuis and Dumas, 1990; Hatfield and Prueger, 2015). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در کلیه شهرستان‌ها ارتباط منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه و

میزان زنده ماندن ذرت در شهرستان رامهرمز در دوره پایه در تاریخ کاشت زودهنگام (دوازدهم بهمن) برابر با ۸۰ درصد در صورتی که در همین دوره در تاریخ کاشت‌های سی‌ام بهمن و چهاردهم اسفند به ترتیب برابر با ۴۰ و ۳۳/۳ درصد می‌باشد. در این شهرستان این موضوع را می‌توان در اقلیم آینده استان نیز مشاهده کرد به طوری که تحت سناریوی RCP8.5 در تاریخ کاشت زودهنگام (دوازدهم

بسیار زیادی در عملکرد و تعداد دانه (شکل ۲) و درصد زنده ماندن (شکل ۵) و همچنین افزایش احتمال ریسک تشکیل عملکرد غیراقتصادی و صفر (شکل ۳ و ۴) در مقابل تاریخ کاشت زود هنگام دوازده بهمن ماه دارد. در واقع استفاده از تاریخ کاشت زود هنگام علاوه بر اینکه باعث کاهش هم‌زمانی گلدهی با دماهای بالا می‌شود (Zheng et al., 2012) بلکه از طریق افزایش طول فصل رشد گیاه به‌ویژه تحت شرایط تغییر اقلیم که دمای بالا باعث کوتاه شدن فصل رشد می‌شوند (Tubiello et al., 2000; Liu et al., 2010) باعث افزایش عملکرد گیاه خواهد شد (Wang et al., 2009).

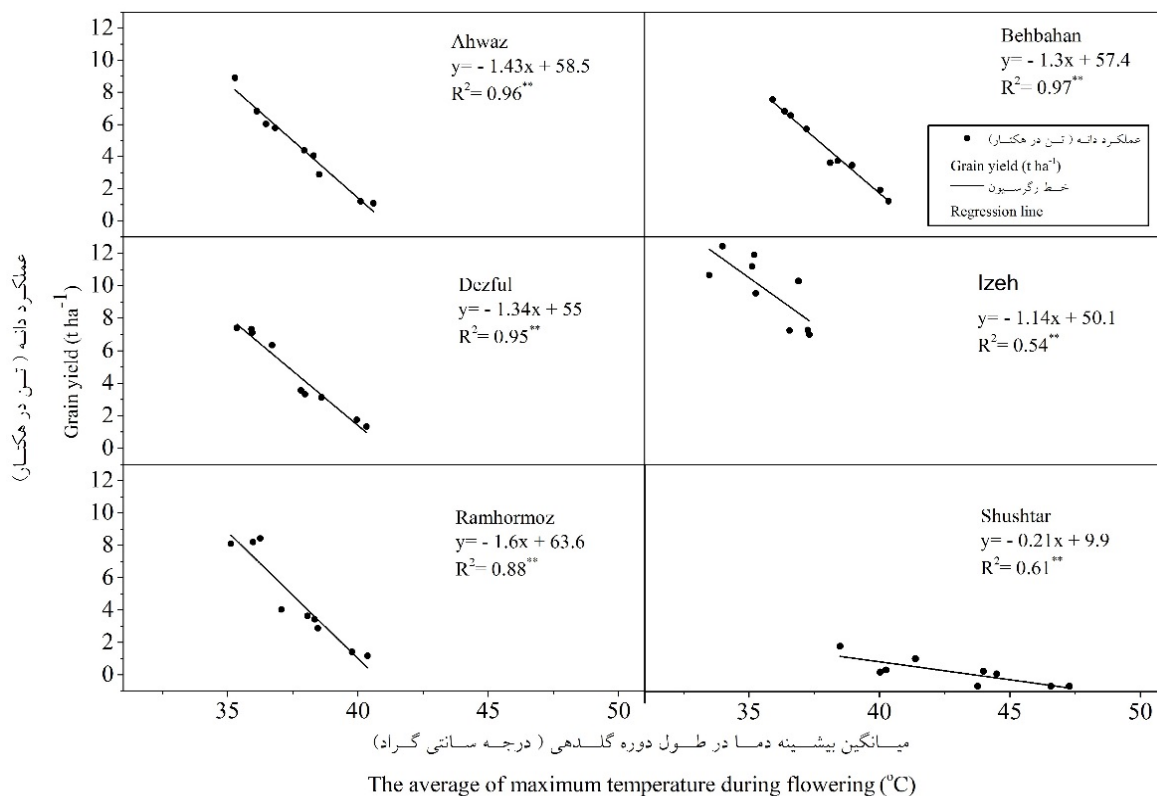
میانگین بیشینه دما در طول گلدهی وجود دارد و این ارتباط منفی شدت بالاتری با ضریب $1/6$ - در شهرستان رامهرمز دارد. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد این شهرستان بیشترین افزایش دما ($4/1$ درجه سانتی‌گراد) تحت RCP8.5 در طول فصل رشد را داشت. در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که افزایش دما در طول فصل رشد در ذرت از طریق کوتاه کردن چرخه زندگی گیاه (Muchow et al., 1990) و عقیمی‌گرده (Schoper et al., 1987a, b) عملکرد ذرت را کاهش می‌دهد.

به‌رحال تاریخ کاشت مرسوم منطقه (سی‌ام بهمن) -نه تنها در دوره پایه نسبت به تاریخ کاشت زود هنگام (دوازده بهمن) برتری نداشت بلکه در شرایط تغییر اقلیم کاهش



شکل ۵. مقادیر شبیه‌سازی شده درصد سال‌های تشکیل عملکرد اقتصادی ذرت در دوره‌های اقلیمی پایه و آینده در شهرستان‌های مورد مطالعه و تاریخ‌های کاشت مختلف.

Fig. 5. The simulated values for the percent of years with economic yield (more than 4.5 t ha^{-1}) in all locations at different sowing dates in the baseline and future scenarios.



شکل ۶. رگرسیون بین عملکرد دانه و میانگین دما در دوره گلدهی در شهرستان‌های مختلف.

Fig. 6. Linear regression between grain yield and the average of maximum temperature during flowering at different locations.

درصد می‌باشد. این رقم در دوره آینده، به‌طور متوسط به ترتیب ۴۳، ۱۱/۹ و ۴۵/۲ درصد (تحت RCP4.5) و ۴۰، ۱۴/۳ و ۴۵ درصد (تحت RCP8.5) خواهد بود. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد ذرت در استان خوزستان تحت شرایط تغییر اقلیم کاهش می‌یابد. تاریخ کاشت مرسوم در منطقه (سی‌ام بهمن) نه‌تنها تاریخ کاشت مناسبی برای دوره پایه استان خوزستان نیست بلکه باعث افزایش ریسک کاهش عملکرد و عدم تشکیل عملکرد اقتصادی در دوره آینده را در بیشتر شهرستان‌ها در پی خواهد داشت. در مقایسه، تاریخ کاشت زود هنگام (دوازده بهمن) در اکثر مناطق می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سازگاری مؤثر برای کاهش ریسک ناشی از افزایش دماهای حدی و همچنین افزایش عملکرد هم در دوره پایه و هم آینده استان در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری نهایی

در استان خوزستان تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 میانگین دما در طول فصل رشد به ترتیب ۲۹/۵ و ۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد بود که نسبت به دوره پایه (۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد) ۸/۵ و ۳۴/۵۷ درصد افزایش داشت. این افزایش دما همراه با افزایش فراوانی دماهای بالای ۳۶ درجه و همچنین افزایش شدت این دماها در طول دوره گلدهی باعث کاهش عملکرد دانه شد. به‌طوری‌که در بعضی از مناطق مانند شوشتر در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام (چهاردهم اسفند) در طول ۳۰ سال شبیه‌سازی عملکرد تشکیل نشد. نتایج این تحقیق نشان داد که در دوره پایه در همه‌ی مناطق مورد مطالعه در استان خوزستان، در تمام تاریخ‌های کاشت احتمال تشکیل عملکرد اقتصادی، عملکرد غیراقتصادی و عملکرد صفر به ترتیب ۵۳/۱، ۱۴/۳ و ۳۲/۶

منابع

- Abbas Torki, T., Mojaddam, M., Abadou, G.R., 2011. Study of water stress on morphological characters of corn (*Zea mays* L.) hybrids in south Khuzestan condition. p. 1836–1842. In: Proceedings of the 1th National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment, 14 Aug. 2011. Urmia, Iran. [In Persian with English Summary].
- AgMIP, 2013a. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with Rin Windows. AgMIP, from: <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, from: <http://research.agmip.org/download/attachments/1998899/C3MP+Protocols+v2.pdf>
- Ainsworth, E.A., Ort, D.R., 2010. How do we improve crop production in a warming world? *Plant Physiology*. 154, 526–530.
- Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., M. Hadgu, K., Kisekka, I., Martorano, L.G., 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.
- Cairns, J.E., Crossa, J., Zaidi, P.H., Grudloyma, P., Sanchez, C., Araus, J.L., Thaitad, S., Makumbi, D., Magorokosho, C., Bänziger, M., Menkir, A., 2013. Identification of drought, heat, and combined drought and heat tolerant donors in maize. *Crop Science*. 53(4), 1335-1346.
- Crafts-Brander, S.J., Salvucci, M.E., 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize to heat stress. *Plant Physiology*. 129, 1773-1780.
- Dashtbozorgi, A., Alijani, B., Jafarpur, Z., Shakiba, A., 2015. Simulating Extreme Temperature Indicators Based on RCP Scenarios: The Case of Khuzestan Province. *Geography and Environmental Hazards*. 4, 105- 123. [In Persian with English Summary].
- Dupuis, I., Dumas, C., 1990. Influence of temperature stress on in vitro fertilization and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) reproductive tissues. *Plant Physiology*. 94, 665–670.
- Hatfield, J.L., Prueger, J.H., 2015. Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. 10, 4-10.
- Hawkins, E., Fricker, T.E., Challinor, A.J., Ferro, C.A., Ho, C.K., Osborne, T.M., 2013. Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s. *Global Change Biology*. 19(3), 937-947.
- Hay, R.K.M. Walker, A.J., 1989. *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Longman Scientific and Technical Press Inc., New York.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Tsuji, G.Y., 2003. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview*. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Iranian 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, 2012-2013, Iran. [In Persian].
- Jans, W.W.P., Jacobs, C.M.J., Kruijt, B., Elebrs, J.A., Barendse, S. and Moors, E.J., 2010. Carbon exchange of a maize (*Zea mays* L.) crop: Influence of phenology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139, 325- 335.
- 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., Smith, C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*. 18, 267– 288.
- Liu, Y., Wang, E., Yang, X., Wang, J., 2010. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biology*. 16, 2287–2299.

- Liu, Z., Hubbard, K.G., Lin, X., 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. *Global Change Biology*. 19(11), 3481-3492.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150, 1443-1452.
- Marengo, J.A., Chou, S.C., Torres, R.R., Giarolla, A., Alves, L.M., Lyra, A., 2014. Climate change in central and South America: recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. Technical Report.
- Mera, R.J., Niyogi, D., Buol, G.S., Wilkerson, G.G., 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 and Planetary Change*. 54, 163-182.
- Moini, S., Javadi, S., Dehghan Manshadi, M., 2011. Feasibility study of solar energy in Iran and preparing radiation atlas. *Recent Advances in Environment, Energy Systems and Naval Science*. 2011, 1-7.
- Muchow, R.C., Sinclair, T.R., Bennett, J.M., 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal*. 82, 338-343.
- Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*. 64(1), 114-118.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. From: <https://www.R-project.org/>.
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., Deihimfard, R., 2016. Estimation of parameters for some dominant maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for using in APSIM mechanistic model. *Electronic Journal of Crop Production*. 64(1), 129-147. [In Persian with English Summary].
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., Deihimfard, R., 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*. 253, 1-14.
- Rowhani, P., Lobell, D.B., Linderman, M., Ramankutty, N., 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 449-460.
- Ruane, A.C., Cecil, L.D., Horton, R.M., 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agricultural and Forest Meteorology*. 170, 132-145.
- Schooper, J.B., Lambert, R.J., Vasilas, B.L., 1987a. Pollen viability, pollen shedding and combining ability for tassel heat tolerance in maize. *Crop Science*. 27, 27-31.
- Schooper, J.B., Lambert, R.J., Vasilas, B.L., Westgate, M.E., 1987b. 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.
- Seifert, E. 2014. OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 54, 1552-1552.
- Singh, V., Nguyen, C.T., van Oosterom, E.J., Chapman, S.C., Jordan, D.R., Hammer, G.L., 2015. Sorghum genotypes differ in high temperature responses for seed set. *Field Crops Research*. 171, 32-40.
- Stone, P. 2001. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In: Basara, A.S. (eds.), *Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress*. Food Products Press, Binghamton, USA. pp. 243-291.
- Teixeira, E.I., Fischer, G., van Velthuizen, H., Walter, C., Ewert, F., 2013. Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 170, 206-215.
- Tubiello, F.N., Donatelli, M., Rosenzweig, C., Stockle, C.O., 2000. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy*. 12, 179-189.
- Tubiello, F.N., Soussana, J.F.O., Howden, S.M., 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104, 19686-19690.
- Wang, J., Wang, E., Luo, Q., Kirby, M., 2009. Modeling the sensitivity of wheat growth and

- water balance to climate change in Southeast Australia. *Climatic Change*. 96, 79–96.
- Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mearns, L.O., 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.
- Zheng, B., Chenu, K., Dreccer, M.F., 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? *Global Change Biology*. 18, 2899–2914.