



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹

۸۵-۱۰۶

شبیه‌سازی مخاطرات ناشی از تنش گرما بر تولید ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک

خسرو عزیزی* و سجاد رحیمی مقدم

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

عزیزی، خ. و س. رحیمی مقدم. ۱۳۹۹. شبیه‌سازی مخاطرات ناشی از تنش گرما بر تولید ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۳): ۸۵-۱۰۶.

سابقه و هدف: امروزه تنش گرما به‌عنوان یکی از بزرگترین خطرهای نگرانی‌های تولید ذرت دانه‌ای است و این موضوع بیشتر در منطقه‌های گرم و خشک دیده می‌شود. تنش گرما عملکرد دانه و سرعت فتوسنتز گیاهی را کاهش و تنفس را افزایش می‌دهد. گیاه ذرت به تنش گرما و دماهای بالا در مرحله گلدهی بسیار حساس بوده زیرا دماهای بالا سبب عقیمی دانه کرده و به موازات آن کاهش عملکرد دانه می‌شود. با این وجود راهکارهایی برای جلوگیری مواجه شدن مرحله گلدهی ذرت با تنش گرما وجود دارد. راهکارهای دقیق مدیریتی مانند تغییر تاریخ کاشت و رقم به‌عنوان روش‌هایی مناسب برای مقابله با تنش گرما استفاده می‌شوند. از طرفی مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی برای بررسی این راهکارها ابزار مفیدی می‌باشند. بنابراین، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثر مخاطرات تنش گرما (فراوانی و شدت گرما) بر عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران و تعیین دامنه‌ی مخاطرات گرما برای این محصول با استفاده از رهیافت مدل‌سازی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی مخاطرات ناشی از تنش گرما در ذرت دانه‌ای کشور یک آزمایش شبیه‌سازی در پنج منطقه (ایران‌شهر، دزفول، پارس‌آباد، کرمانشاه و کرمان) طراحی شد. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ کاشت‌های مختلف: تاریخ کاشت مرسوم (تاریخ کاشت کشاورزان منطقه)، دیرهنگام (۲۰ روز بعد از تاریخ کاشت مرسوم) و زودهنگام (۲۰ روز قبل از تاریخ کاشت مرسوم) و دو رقم: سینگل کراس ۷۰۴ (دیررس) و سینگل کراس ۲۶۰ (زودرس) بودند. برای انجام این کار، داده‌های بلند مدت اقلیمی روزانه هر منطقه شامل بیشینه و کمینه دما، بارش و تشعشع از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری گردید. این داده‌ها به‌عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی مورد استفاده قرار گرفتند. در مطالعه حاضر، مدل زراعی APSIM برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه ذرت استفاده گردید. برای بررسی مخاطرات گرما بر روی ذرت دانه‌ای، سه بعد، شامل مرحله حساس (گلدهی) ذرت دانه‌ای به دماهای حدی، فراوانی دماهای حدی در مرحله حساس و شدت دماهای حدی در این مرحله در نظر گرفته شدند. همچنین دامنه‌ی ریسک تنش گرما برای گلدهی در هر منطقه برابر با اولین روز از سال با بیشینه دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد تا آخر روز سال با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد بود.

* Corresponding Author: Email Address. azizi.kh@lu.ac.ir

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که دامنه‌ی مخاطرات (تعداد روزهایی متوالی از سال با ماکزیمم دمای بالای ۳۶ سانتی‌گراد) برای بوم نظام‌های ذرت ایران به‌طور میانگین ۹۴/۴ روز بود که در منطقه‌ها و اقلیم‌های مختلف متفاوت بود. کمترین بازه مخاطرات در منطقه نیمه خشک و معتدل پارس‌آباد (۱۴ روز) و بیشترین مقدار در منطقه گرم و خشک ایران‌شهر (۱۸۳ روز) ثبت گردید. همچنین درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت برابر با ۶۳/۵ درصد و شدت تنش گرما برابر ۳۷/۰۹ درجه سانتی‌گراد بود. این موضوع سبب کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای کشور می‌شود به‌طوری که عملکرد دانه در حال حاضر برابر ۶۱۹۶/۵ کیلوگرم شبیه‌سازی شد. با این وجود تاریخ کاشت‌های زود هنگام و رقم زودرس در کشت بهاره درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت (۳۷/۲ درصد) و شدت تنش گرما (۳۵/۱ درجه سانتی‌گراد) را کاهش داد و عملکرد دانه را به ۷۴۸۶/۹ کیلوگرم افزایش داد. همچنین تاریخ کاشت‌های دیر هنگام و رقم دیررس در کشت تابستانه درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت (۳۸/۹ درصد) و شدت تنش گرما (۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد) را کاهش داد و عملکرد دانه را به ۷۷۴۳/۶ کیلوگرم افزایش داد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج نشان داد که ذرت دانه‌ای در حال حاضر تحت یک مخاطره بالای تنش گرما کشت می‌شود. به‌منظور کاهش مخاطرات و افزایش عملکرد دانه، کشاورزان در هر منطقه باید تاریخ کاشت‌ها و ارقام بهینه را بنابر فصل کشت به کار ببرند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، تاریخ کاشت، گلدهی، رقم.

مقدمه

تنش گرما به‌عنوان یکی از بزرگترین خطرهای نگرانی‌های برای تولید ذرت (*Zea mays L.*) دانه‌ای است و این موضوع در منطقه‌های گرم و خشک بیشتر به چشم می‌خورد. عملکرد دانه ذرت به شکل‌های مختلفی به‌وسیله تنش گرما تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اولین اثر دماهای بالا بر ذرت، تأثیر بر کاهش طول دوره رسیدگی می‌باشد که سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Tebaldi and Lobell, 2018).

دومین مورد، تأثیر بر کاهش نرخ فتوسنتز گیاه و افزایش تعرق می‌باشد (Crafts-Brandner and Salvucci, 2002). کاهش شدید عملکرد دانه به‌واسطه کاهش تعداد تشکیل دانه در مرحله گلدهی به‌عنوان یک مورد دیگر از اثرهای دماهای حدی شناخته می‌شود. ذرت در مرحله گلدهی نسبت به تنش گرما و دماهای حدی بسیار حساس می‌باشد زیرا دماهای بالا موجب عقیمی دانه‌گرده و به موازات آن کاهش عملکرد دانه می‌شود (Carberry et al., 1989; Dupuis and Dumas, 1990; Stone, 2000; Gourdj et al., 2013). تأثیر تاننش گرما در این مرحله نسبت به مرحله‌های دیگر بیشتر می‌باشد و حتی در مواردی با شدت تنش بالا عملکرد دانه تشکیل نمی‌گردد (Rahimi-Moghaddam et al., 2018).

با این وجود، راهکارهایی برای جلوگیری از مواجه شدن مرحله گلدهی ذرت با تنش گرما وجود دارد. این راهکارها از تغییر تاریخ کاشت (Liu et al., 2013) و تغییر رقم (Rahimi-Moghaddam et al., 2018) تا کشت در منطقه‌های خنک‌تر (Gourdji et al., 2013) متغیر می‌باشند. نتایج مطالعات گذشته نشان داده است که در جنوب غرب ایران، تحت شرایط افزایش دما، دامنه مخاطرات گرما به‌طور میانگین ۲۲/۵ روز افزایش داشت که سبب کاهش شدید عملکرد دانه گردید با این وجود استفاده از راهکارهای مدیریتی مناسب از جمله تغییر تاریخ کاشت و رقم از تغییرات شدید عملکرد دانه جلوگیری به‌عمل آورد (Rahimi-Moghaddam et al., 2018).

سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در کشور ۱۳۸۹۶۹ هکتار و میزان تولید آن برابر با ۱۰۶۸۶۸۹ تن می‌باشد (Anonymous, 2017a). این در حالی هست که حجم واردات ذرت در ایران به میزان ۴۹۷۲۴۰۰ تن می‌باشد (Anonymous, 2017b). بنابراین استفاده از راهکارهایی جهت جلوگیری از کاهش مخاطرات و افزایش عملکرد می‌تواند به کاهش حجم واردات و افزایش تولید کمک نماید. با توجه به اهمیت محصول ذرت دانه‌ای کشور و همچنین تأثیر دماهای بالا بر کاهش عملکرد این محصول، این مطالعه به منظور ارزیابی مخاطرات ناشی از تأثیر گرما (فراوانی و شدت گرما) بر عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران و ارزیابی دامنه‌ی مخاطرات برای این محصول انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه در کشور

این تحقیق در پنج منطقه پارس‌آباد مغان، کرمانشاه، دزفول، کرمان و ایرانشهر انجام شد. معیار انتخاب این شهرستان‌ها سطح زیرکشت ذرت و تنوع آب و هوایی در سطح کشور بود. این منطقه‌ها از شمال غرب کشور تا جنوب غرب امتداد دارند. براساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن این منطقه‌ها، در سه اقلیم گرم و خشک (دزفول و ایرانشهر)، معتدل و خشک (کرمان) و معتدل و نیمه خشک (کرمانشاه و پارس‌آباد) قرار دارند. در جدول ۱ ویژگی‌های آب و هوایی و جغرافیایی منطقه‌ها مشخص می‌باشند

جمع‌آوری داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های مورد

استفاده

داده‌های اقلیمی بلندمدت مورد استفاده در این تحقیق، شامل دمای کمینه و بیشینه ($^{\circ}\text{C}$)، بارندگی (mm) و تعداد

شبیه‌سازی گزارش شد که تاریخ کاشت‌های زود هنگام عملکرد دانه را به مقدار ۴ درصد افزایش داد و استفاده از ارقامی با طول دوره رسیدگی بالا در ۲۷ سال گذشته به- مقدار ۲۵/۵ درصد عملکرد را افزایش داد (Liu et al., 2013). مقایسه راهکارهای سازگاری برای ذرت آمریکا در مقابل تغییرات دما نشان داد که در حال حاضر بسیاری از منطقه‌های خنکی که دارای پتانسیل تولید نیستند می-توانند در آینده به‌عنوان منطقه‌های تولید ذرت در آینده در نظر گرفته شوند (Butler and Huybers, 2013).

امروزه، نقش مدل‌های زارعی در بررسی اثرهای محیطی اجتناب‌ناپذیر است. این ابزارها فرصتی را برای بررسی تغییرات اقلیمی بلند مدت در محیط‌های مختلف فراهم آورده‌اند (Chenu, 2014; Watson et al., 2017; Rahimi-Moghaddam et al., 2018; Deihimfard et al., 2019). در یک بررسی در شمال شرق ایران، مدل SUCROS به-منظور ارزیابی پتانسیل عملکرد چغندر قند (*Beta vulgaris*) و ارزیابی مخاطرات سرما بر این محصول در طول سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۸ برای کشت‌های پاییزه و بهار به هشت منطقه به‌کار برده شد. نتایج نشان دادند که مقدار آسیب تنش سرما بر چغندر قند در سال‌ها و منطقه‌های مختلف متفاوت بود به‌طوری که دامنه‌ی این تغییرات در تاریخ کاشت‌های پاییزه از ۶۲/۲ تا ۱۰۰ درصد متفاوت بود (Deihimfard et al., 2019). در طول دهه گذشته، مدل‌های گیاهی به‌عنوانی یک ابزار تحقیقی برای بررسی روند اقلیم گذشته و آینده بر محصول‌های مختلف در منطقه‌های مختلف در سراسر جهان (Chenu et al., 2013; Liu et al., 2017; Nassiri et al., 2013; Watson et al., 2017; Moradi et al., 2013; Deihimfard et al., 2015; Rahimi-Moghaddam et al., 2018; Deihimfard et al., 2019) استفاده شده-اند. علم مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرصت‌هایی را برای محققان فراهم آورده است که بدون نیاز به طراحی آزمایشات چندگانه مزرعه‌ای در هزینه‌ها و زمان صرفه‌جویی به‌عمل آورند.

پارس آباد) + (۶۶ سال × دو رقم × سه تاریخ کاشت: کرمانشاه) + (۶۶ سال × دو رقم × سه تاریخ کاشت: کرمان) + (۵۳ سال × دو رقم × سه تاریخ کاشت: ایرانشهر) + (۵۶ سال × دو رقم × سه تاریخ کاشت: دزفول). تاریخ کاشت‌ها شامل سه تاریخ کاشت زودهنگام (۲۰ روز قبل از تاریخ کاشت مرسوم)، مرسوم (تاریخ کاشتی که در حال حاضر به کار برده می‌شود) و دیرهنگام (۲۰ روز بعد از تاریخ کاشت مرسوم) هستند. ارقامی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند شامل ارقام سینگل کراس ۷۰۴ (دیررس) و سینگل کراس ۲۶۰ (زودرس) بود. این ارقام بیشترین سطح زیر کشت را در گروه رسیدگی خود در کشور دارند.

توصیف مدل در این تحقیق، از مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای استفاده شد. مدل APSIM توسط محققان 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 آن را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند و به عامل‌های مختلف از جمله آب و هوا (دما، بارندگی، تابش)، خاک (آب خاک و نیتروژن خاک)، پارامترهای ژنتیکی و اطلاعات مدیریتی محصول زراعی پاسخ می‌دهد (Keating *et al.*, 2003). در مدل بیان شده مرحله‌های فنولوژیکی به وسیله طول روز و دما کنترل می‌شوند. همچنین مقدار بیوماس تولیدی بر اساس مقدار تشعشع جذب شده و کارایی مصرف تشعشع تخمین زده می‌شود. تخصیص مقدار بیوماس تولیدی به اندام‌های مختلف گیاه با استفاده از ضرایب تخصیص کنترل می‌شوند که در هر مرحله این ضرایب متفاوت می‌باشند. بیان آب در مدل APSIM بر اساس مقدار تبخیر، تعرق گیاه، زهکشی و رواناب استوار می‌باشد که این مقدار به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌گردد. در این تحقیق، تمامی شبیه‌سازی‌ها در شرایط پتانسیل انجام شد.

ساعت‌های آفتابی هستند که از سازمان هواشناسی کشور به صورت روزانه جمع‌آوری شدند. این داده‌ها از زمان تأسیس ایستگاه هواشناسی تا سال ۲۰۱۶ جمع‌آوری گردیدند (جدول ۱). داده‌های بیان شده به عنوان ورودی مدل‌های اقلیمی و مدل شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی مورد استفاده قرار گرفتند. به دلیل این که در ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی از ماه‌های سال داده‌ی هواشناسی ثبت نشده و در برخی موارد داده‌های پرت وجود داشت داده‌های پرت و گم شده در ایستگاه‌های مختلف با استفاده از برنامه Weather Man^۱ (Hoogenboom *et al.*, 2003) اصلاح و بازسازی شدند. همچنین با توجه به این که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تابش روزانه ثبت نشده بود، با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی، تابش روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم (Prescott, 1940) به صورت زیر تخمین زده شدند:

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N} \right) R_a \quad (1)$$

در این معادله، RS نشان دهنده‌ی تابش روزانه (مگاژول در مترمربع)، n تعداد ساعات آفتابی، N حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن و R_a تابش فرازمینی^۲ می‌باشد. پارامترهای a و b ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند. در این تحقیق، مقدار پارامترهای a و b برای منطقه‌های مختلف ۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته شد.

آزمایش‌های شبیه‌سازی

آزمایش‌های بلند مدت شبیه‌سازی از دو رقم، سه تاریخ کاشت، ۵ منطقه و دوره گذشته (تعداد سال‌های شبیه‌سازی شده در هر منطقه) تشکیل شدند. با در نظر گرفتن موارد بالا آزمایش‌های شبیه‌سازی کمابیش شامل ۱۶۴۴ آزمایش شبیه‌سازی بودند [۳۳ سال × دو رقم × سه تاریخ کاشت:

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی مناطق مورد مطالعه
Table 1. Climatic and geographic properties of study areas

مناطق Locations	طول/عرض جغرافیایی Longitude and latitude	ارتفاع Elevation (m)	دوره شبیه- سازی Simulation period	سطح زیرکشت The area under cultivation (ha)	تاریخ کشت (موسوم) Sowing time (common)	فصل کشت Sowing season	میانگین دمای سالانه Annual mean temperature (°C)	میانگین بارندگی تجمعی سالانه Annual mean cumulative rainfall (mm)	نوع اقلیم Climate type
ایرانشهر Iranshahr	60.7/27.2	591.1	1964- 2016	1000	۱۱ مرداد 2-Aug	تابستان Summer	26.8	111.9	خشک و گرم Arid and hot
پارس‌آباد Parsabad	47.9/39.6	31.9	1984- 2016	10635	۱۰ اردیبهشت 30-Apr	بهار Spring	15.2	271.2	نیمه خشک و معتدل Semi-arid and temperate
دزفول Dezful	48.38/32.4	143	1961- 2016	25585	۲۴ تیر 15-Jul	تابستان Summer	24.5	318.7	خشک و گرم Arid and hot
کرمانشاه Kermanshah	47/34.2	1400	1951- 2016	18240	۱۴ اردیبهشت 4-May	بهار Spring	14.5	441.6	نیمه خشک و معتدل Semi-arid and temperate
کرمان Kerman	56.9/30.3	1753	1951- 2016	100	۲۹ اردیبهشت 19-May	بهار Spring	15.9	148	خشک و معتدل Arid and temperate

پتانسیل بود استفاده شد (جدول ۲). به این صورت که برای رقم زودرس سینگل کراس ۲۶۰ یک مجموعه داده چهارساله (Anonymous, 2016) به کار برده شد. همچنین برای رقم دیررس (سینگل کراس ۷۰۴) از داده‌های دو منطقه (کرمان و خرم‌آباد) که هر کدام در یکسال انجام شده بودند استفاده گردید (Rahimi-Moghaddam, 2013; Madadzadeh, 2016). با استفاده از این مجموعه داده‌ها،

واسنجی و اعتبارسنجی مدل زراعی برای ارقام مورد استفاده

برای استفاده از مدل ابتدا لازم است مدل واسنجی و تعیین اعتبار گردد. واسنجی و اعتبارسنجی مدل بر اساس رهیافت آزمون و خطا بود. برای واسنجی مدل از چندین مجموعه داده‌های مستقل که تمام اندازه‌گیری‌های آن‌ها در شرایط

بیوماس، عملکرد دانه، تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی و
تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی برای هر رقم
واسنجی شد. در این مرحله، پارامترهای ویژه هر رقم که از
طریق واسنجی مدل به دست آمد در جدول ۳ نشان داده
شده است.

جدول ۲- مجموعه داده‌های مورد استفاده برای واسنجی مدل

Table 2. Used data set for calibration of the model

رقم Cultivar	منطقه Location	سال Year	عرض جغرافیایی Latitude	منبع Reference
SC704	کرمان Kerman	۱۳۹۳ 2014	30.25	(Madadzadeh, 2016)
	خرم‌آباد Khormabad	۱۳۹۱ 2012	33.43	(Rahimi-Moghaddam, 2013)
SC260	شیراز Shiraz	۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ 2007, 2008, 2011, 2012	29.53	(Anonymous, 2016)

جدول ۳- مقدار پارامترهای ویژه هر رقم که از طریق واسنجی مدل به دست آمد

Table 3. Cultivar-specific parameters of the cultivars obtained from model calibration

پارامتر Parameter	رقم Cultivar		واحد Unit
	SC704	SC260	
زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی Thermal time accumulation from flowering to maturity	1000	780	درجه روز رشد °Cd
بیشینه تعداد دانه در بلال Maximum number of grains per head	650	545	-
سرعت رشد دانه Grain growth rate	8.5	9.6	میلی گرم در روز mg kernel ⁻¹ d ⁻¹
زمان دمایی تجمعی از زمان ظهور برگ پرچم تا مرحله گلدهی Accumulated thermal time from flag leaf appearance to flowering	50	10	درجه روز رشد °Cd
زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا شروع پر شدن دانه Thermal time accumulation from flowering to start of grain filling	120	120	درجه روز رشد °Cd

جدول ۴- آزمایش‌های مورد استفاده برای اعتبارسنجی رقم‌های سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰

Table 4. Experimental dataset for validation of the SC704 and SC704 260 cultivars

منطقه Location	رقم Cultivar	عرض جغرافیایی Latitude	سال Year	تیمارها Treatments	منبع Reference
SC704	زرقان Zarghan	29.78	2006, 2007	تاریخ کاشت Planting date	(Estakhr and Choukan, 2011)
			2005, 2006, 2007	ژنوتیپ، تاریخ کاشت Genotype, planting date	(Dehghanpour and Estakhr, 2010)
	شیراز Shiraz	29.53	2007	محدودیت منبع (تیمار کنترل استفاده شد) Source restriction (control treatment was used)	(Emam <i>et al.</i> , 2013)
	گرگان Gorgan	36.9	2004, 2005	تراکم گیاهی Plant density	(Saberi <i>et al.</i> , 2008)
			2008	تراکم گیاهی، تاریخ کاشت Plant density, planting date	(Moeinirad <i>et al.</i> , 2013)
	میانه Mianeh	37.45	1999	فاصله روی ردیف، تراکم گیاهی Row spacing and plant density	(Salehi, 2005)
	کرج Karaj	35.91			
	مغان Moghan	39.65			
	قراخیل Gharakhil	36.45			
	اصفهان Esfahan	32.61			
	شیراز Shiraz	29.53	2012	منطقه Location	(Choukan, 2013)
	گرگان Gorgan	36.9			
	کرمانشاه Kermanshah	34.35			
	جیرفت Jiroft	28.58			
ایلام Ilam	33.63				
SC260	زرقان Zarghan	29.78	2005, 2006, 2007	ژنوتیپ، تاریخ کاشت Genotype, planting date	(Dehghanpour and Estakhr, 2010)
			2008	ژنوتیپ Genotype	(Hasanzadeh and Dehghanpour, 2010)
	مشهد Mashhad	36.26	2006	ژنوتیپ، تراکم گیاهی Genotype, plant density	(Goldani <i>et al.</i> , 2011)
			2005	تراکم گیاهی، تاریخ کاشت Plant density, planting date	(Naderi <i>et al.</i> , 2010)
خرم‌آباد Khormabad	33.43				

تخمین مخاطرات تنش گرما (فراوانی، شدت و دامنه) بر ذرت دانه‌ای

برای اندازه‌گیری مخاطرات گرما بر روی گیاه زراعی، در نظر گرفتن سه بعد (Teixeira *et al.*, 2013) شامل مرحله حساس گیاه، فراوانی دماهای حدی در مرحله حساس گیاه و شدت دماهای حدی در مرحله حساس گیاه زراعی ضروری می‌باشد. در ذرت مرحله گلدهی به عنوان حساس‌ترین مرحله به تنش گرما شناخته می‌شود چرا در این مرحله گرما و دماهای حدی سبب کاهش تشکیل دانه از طریق عقیمی دانه کرده می‌شود (Carberry *et al.*, 1989; Dupuis and Dumas, 1990; Stone, 2000). بنابراین مرحله گلدهی در تحقیق به‌عنوان حساس‌ترین مرحله در نظر گرفته شد. در مدل APSIM این کاهش دانه در ۱۰ روز قبل از مرحله گلدهی و هنگام گلدهی اتفاق می‌افتد (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018; G.L. Hammer, pers. comm). همچنین در مدل بیان شده ماکزیمم دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دماهای حدی برای این مرحله در نظر گرفته شده است (Holzworth *et al.*, 2014). بنابراین در این تحقیق تعداد روزهایی با بیشینه دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت به عنوان فراوانی تنش گرما در نظر گرفته شد و میانگین بیشینه دما در طول دوره گلدهی به‌عنوان سنجه شدت تنش گرما مورد توجه قرار گرفت. همچنین دامنه‌ی مخاطرات گرما در این تحقیق، برابر تعداد روزهایی از سال بود که شروع آن برابر با اولین روزهای سال با پنج روز متوالی با ماکزیمم دمای بالای ۳۶ سانتی‌گراد و پایان آن برابر آخرین روزهای سال با پنج روز متوالی با ماکزیمم دمای بالای ۳۶ سانتی‌گراد بود.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

نتایج حاصل از واسنجی مدل در مرحله‌های گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی دو رقم در سال‌ها و منطقه‌های

برای اعتبار سنجی مدل از یکسری مجموعه داده‌ها در گستره وسیع اقلیمی استفاده شد (جدول ۴). این مجموعه داده‌ها مربوط به منطقه‌های مختلف ایران با تیمارهای متفاوت و روش‌های مدیریتی مختلف بودند به‌طوری که اعتبارسنجی مدل در شرایط مختلف آب و هوایی انجام شد. در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از روش آزمون و خطا^۲ استفاده گردید (He *et al.*, 2017; Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018; Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2019).

برای مقایسه مقدارهای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده گلدهی، رسیدگی فیزیولوژیکی، بیوماس و عملکرد دانه از سنجه‌های آماری ضریب تبیین^۴ (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده^۵ (NRMSE) (Wallach and Goffinet, 1987)، سنجه توافق^۶ (d value) (۴۶) و میانگین خطای اریب^۷ (MBE) (Willmott, 1982) با توجه به رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$NRMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{n} \quad (3)$$

$$d \text{ value} = 1.0 - \quad (4)$$

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right]$$

در این معادلات S داده شبیه‌سازی شده، O داده مشاهده شده \bar{O} میانگین داده مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد. در زمینه دقت شبیه‌سازی مدل هنگامی که جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده و میانگین خطای اریب به سمت صفر میل کند، دقت افزایش می‌یابد و همچنین نزدیک بودن سنجه توافق به عدد یک نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی می‌باشد. در این تحقیق برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار OriginPro 9.1 (Seifert, 2014) استفاده گردید.

اشاره کرد. در واقع تعیین زمان دقیق مرحله‌های فنولوژیکی، برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه دارای اهمیت بسیاری است. چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی (ضرایب تخصیص) متناسب با مراحل نمو گیاه انجام می‌گیرد. از این رو پیش‌بینی دقیق مرحله‌های فنولوژی برای ارقام مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ضروری است (Nassiri, 2008). همچنین مدل توانست زمان مرحله‌های فنولوژیکی گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی را با دقت بالا شبیه‌سازی کند (جدول ۵) و همین عامل موجب شبیه‌سازی دقیق عملکرد ماده خشک و به موازات آن عملکرد دانه توسط مدل شده است. افزون‌براین در مدل APSIM-Maize دو پارمتر ژنتیکی بیشینه تعداد دانه در بلال و سرعت رشد دانه (جدول ۳) به‌طور مستقیم بر روی عملکرد دانه تأثیر گذار است (Hammer *et al.*, 2010) و دقت اندازه‌گیری بالای این دو پارمتر می‌تواند موجبات پیش‌بینی دقیق عملکرد دانه را فراهم آورد.

دامنه‌ی مخاطرات تنش گرما در مناطق مورد

مطالعه

نتایج نشان داد که دامنه‌ی مخاطرات گرما در منطقه‌ها و اقلیم‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بنابر شکل ۲، بزرگترین دامنه‌ی مخاطرات دماهای حدی در منطقه‌های گرم و خشک به‌دست آمد به‌طوری که در این منطقه‌ها به‌طور میانگین دامنه‌ی مخاطرات ۱۷۴ روز بود. در منطقه‌های بیان شده بازه مخاطرات از اواسط ماه فروردین شروع و تا اواسط ماه آبان ادامه داشت. در این اقلیم بیشترین دامنه در شهرستان ایرانشهر با ۱۸۳ روز به‌دست آمد (شکل ۲). در این زمینه کمترین مقدار دامنه‌ی مخاطرات (۱۴ روز) در منطقه نیمه خشک و معتدل پارس‌آباد ثبت گردید به‌طوری‌که این بازه فقط از ۸ تا ۲۱ مرداد ادامه داشت. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با وجود پایین بودن میانگین دما در طول سال (جدول ۱) در شهرستان کرمانشاه (۱۴/۵)

مختلف نشان داد که مدل با دقت خوبی مرحله‌های بیان شده را شبیه‌سازی نموده است (جدول ۵)، به‌طوری‌که NRMSE، MBE و d value به‌عنوان سنج‌های کارکرد مدل برای روز تا گلدهی به‌ترتیب برابر ۳/۵ درصد، ۰/۸۷ روز و ۰/۹۵ و برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی برابر ۳/۴ درصد، ۳/۱ روز و ۰/۹۹ بودند (جدول ۵). همچنین نتایج واسنجی مدل تحت مناطق، ارقام و همچنین سال‌های مختلف برای عملکرد ماده خشک مشخص کرد که دقت مدل در حد قابل قبولی قرار دارد به‌طوری‌که مقادیر NRMSE، MBE و d value به‌عنوان سنج‌های ارزیابی دقت مدل برای عملکرد ماده خشک ۲/۵ درصد، ۰/۴- تن در هکتار و ۰/۹۹ به‌دست آمد (جدول ۵) و مدل عملکرد ماده خشک را با میانگین ۲۱ تن در هکتار نسبت به میانگین مشاهده شده (۲۰/۷ تن در هکتار) بیشتر شبیه‌سازی کرده است.

نتایج اعتبارسنجی مدل برای دو رقم سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ نشان داد که مدل، دقت خوبی در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد، به‌طوری‌که مقادیر NRMSE، MBE و d value برای ارقام مختلف سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ به‌ترتیب ۹/۲۹ درصد، ۰/۱۶- تن در هکتار، ۰/۹۵ و ۰/۸۴ بود (شکل ۱). همچنین نزدیکی خط یک به یک و خط رگرسیون بیانگر دقت بالای شبیه‌سازی مدل گیاه زراعی و نزدیکی نقاط شبیه‌سازی و مشاهده شده می‌باشد (شکل ۱). در این ارزیابی همانطور که در جدول ۴ نشان داده شد از تیمارهای مختلف مانند تاریخ کاشت، تراکم گیاهی و منطقه‌های مختلف استفاده شد. در واقع مدل با توجه به شرایط مختلف، شبیه‌سازی عملکرد دانه را با دقت خوبی انجام می‌دهد و این موضوع نشان‌دهنده واسنجی دقیق مدل برای هر رقم می‌باشد. اعتبارسنجی دقیق نیازمند واسنجی دقیق مدل می‌باشد (Makowski *et al.*, 2006). در زمینه شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه، پارمترهای مختلفی تأثیرگذار هستند از جمله این پارمترها می‌توان به پارمترهای فنولوژیکی (پارمترهایی است که مربوط مرحله‌های نمو گیاه هستند)

کشت تابستانه کاربرد یک رقم دیررس و تاریخ کاشت دیرهنگام به این موضوع کمک می‌کند (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018). در یک مطالعه شبیه‌سازی دیگر در شمال شرق ایران نیز مشخص شد که مخاطرات دامنه‌ی سرما برای چغندر قند در هشت منطقه مورد بررسی بسیار متفاوت بود به‌طوری‌که کوتاه‌ترین دامنه‌ی مخاطرات در منطقه نیشابور (از ۱۰ آذر تا ۲۶ بهمن ماه) و بلندترین دامنه در بجنورد و بیرجند (از ۲۸ آبان تا نهم اسفند) شبیه‌سازی شد (Deihimfard *et al.*, 2019).

فراوانی تنش گرما و دماهای حدی در طول دوره گلدهی

به‌طور میانگین در حال حاضر در تمامی بوم‌نظام‌های ذرت و با در نظر گرفتن تاریخ کاشت مرسوم هر منطقه و رقم سینگل کراس ۷۰۴ به‌عنوان رقم مرسوم ایران، درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت برابر با ۶۳/۵ درصد بود (شکل ۳). این موضوع در منطقه‌ها و سه اقلیم مورد بررسی متفاوت بود به‌طوری‌که بیشترین مقدار (۹۵ درصد) و کمترین مقدار (صفر) به‌ترتیب در دو منطقه دزفول (گرم و خشک) و پارس‌آباد (نیمه خشک و معتدل) تشکیل شد. نتایج نشان داد که دو تاریخ کاشت بهینه زود هنگام در کشت بهاره و دیرهنگام در کشت تابستانه همراه با رقم مرسوم سینگل کراس ۷۰۴، درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی، ذرت را به مقدار ۲۳/۶ درصد کاهش داد (شکل ۳). این در حالی بود که به‌کارگیری تاریخ کاشت‌های بهینه همراه با رقم‌های بیشتر مؤثر بود به‌طوری‌که کاربرد یک رقم بهینه (رقم زودرس سینگل کراس ۲۶۰) برای کشت بهاره و یک رقم بهینه برای کشت تابستانه (رقم دیررس سینگل کراس ۷۰۴) درصد تعداد روزهایی با بیشینه دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت را به مقدار ۲۵/۶ درصد کاهش داد (شکل ۳).

درجه سانتی‌گراد) نسبت به شهرستان کرمان (۱۵/۹ درجه سانتی‌گراد)، مقدار طول دامنه‌ی مخاطرات در شهرستان کرمانشاه (۶۵ روز) نسبت به شهرستان کرمان (۴۵ روز) به‌مقدار ۲۰ روز بیشتر بود. این موضوع اهمیت بررسی سنجه دامنه‌ی مخاطرات و شناخت آن را به‌روشنی مشخص می‌کند و نشان می‌دهد که میانگین دمای سالانه‌ی کمتر، همیشه نمی‌تواند بیانگر مخاطرات کمتر باشد. نکته‌ی دیگر زمان شروع این بازه می‌باشد. به‌طور کلی زمان شروع دامنه‌ی مخاطرات در شهرستان کرمانشاه (۱۲ تیر) زودتر از شهرستان کرمان (۲۵ تیر) آغاز می‌گردد (شکل ۲). شروع شدن زود هنگام دامنه‌ی مخاطرات در شهرستان سبب می‌شود که گلدهی ذرت در همه‌ی تیمارهای ارقام و تاریخ کاشت‌ها در دامنه‌ی دماهای حدی قرار گیرد.

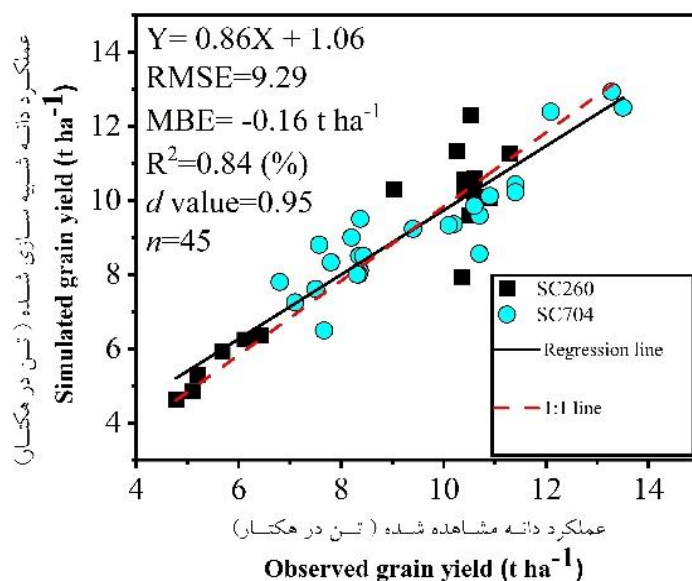
بنابر شکل ۲، تاریخ کاشت‌ها و ارقام با توجه به فصل کاشت، کارکردی متفاوت داشتند. به‌طور کلی در منطقه‌هایی با فصل تابستانه (ایران‌شهر و دزفول)، تاریخ کاشت دیرهنگام و رقم دیررس کارکرد بهتری داشتند. در این منطقه‌ها با کاربرد تاریخ کاشت دیرهنگام و رقم دیررس (سینگل کراس ۷۰۴)، گلدهی ذرت کمتر در معرض دماهای حدی قرار می‌گیرد. در منطقه‌های با فصل کاشت بهاره (کرمان، کرمانشاه و پارس‌آباد) این موضوع به‌طور کامل متفاوت است و کاربرد یک تیمار متفاوت می‌تواند کارکرد بهتری داشته باشد. در این منطقه‌ها، کاربرد تیمار رقم زودرس (رقم سینگل کراس ۲۶۰) و تاریخ کاشت زود هنگام سبب می‌شود گلدهی ذرت، کمتر در معرض دماهای بالا قرار گیرد. در مطالعه‌ی شبیه‌سازی در جنوب غرب ایران نشان داده شد که بالاترین مخاطرات برای گلدهی ذرت در یک منطقه گرم (رامهرمز) با ۱۷۱ روز به‌دست آمد در حالیکه مقدار آن در یک منطقه خنک (ایذه) با ۱۲۳ روز ثبت گردید. همچنین این مطالعه نشان داد که در کشت زمستانه تاریخ کاشت‌های زود هنگام و رقم‌های زودرس موجب می‌شود که گلدهی، کمتر در معرض تنش گرما قرار گیرد و در

جدول ۵- نتایج واسنجی مدل APSIM-Maize برای ارقام ذرت در منطقه‌های مختلف

Table 5. Results of APSIM-Maize model calibration for maize cultivars in different location

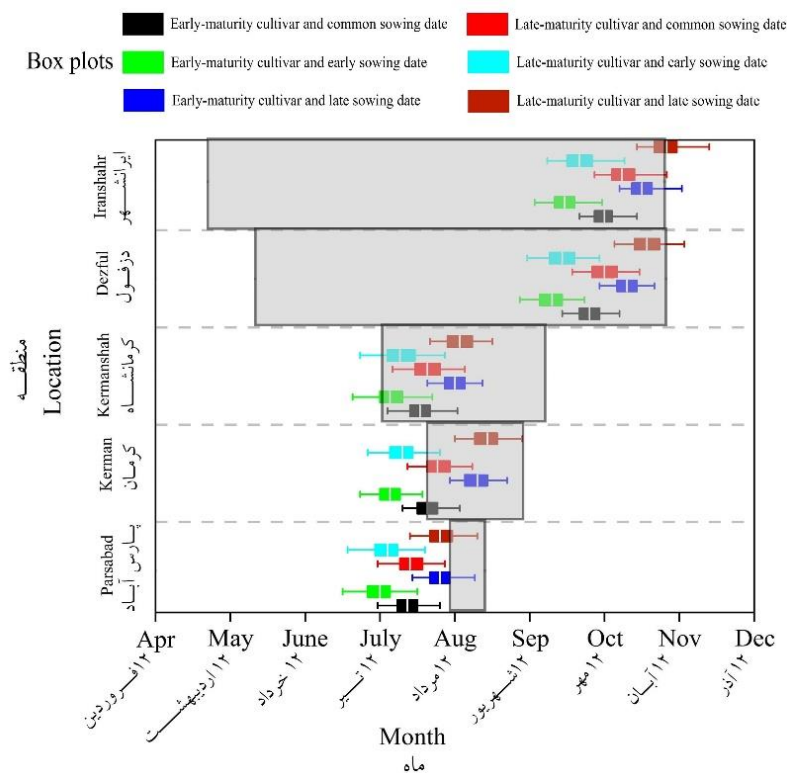
رقم Cultivar	منطقه Location	تاریخ کاشت Sowing date	روز تا گلدهی (روز پس از کاشت) Days to flowering (DAS)		روز تا رسیدگی (روز پس از کاشت) Days to maturity (DAS)		ماده خشک (تن در هکتار) Biomass (t ha ⁻¹)		
			مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه سازی شده Simulated	
SC704	کرمان	سبزه اردیبهشت ۱۳۹۳ 3 th May (2014)	69	69	130	132	26.95	27.69	
	خرم‌آباد	اول خرداد ۱۳۹۱ 21 th May (2012)	66	68	126	119	24.46	25.12	
SC260		پانزده خرداد ۱۳۸۶ 5 th June (2007)	54	55	101	98	19.37	19.08	
		بیست و پنج خرداد ۱۳۸۶ 15 th June (2007)	58	56	102	100	18.73	19.44	
	شیراز		پانزده خرداد ۱۳۸۷ 5 th June (2008)	55	56	102	99	19	18.86
			بیست و پنج خرداد ۱۳۸۷ 15 th June (2008)	60	57	105	101	18.33	18.69
			هیجده تیر ۱۳۹۰ 9 th July (2011)	55	53	109	103	18.54	19.23
			پانزده تیر ۱۳۹۱ 5 th July (2012)	60	56	107	105	19.17	19.67
Mean		59.6	58.8	110.3	107.1	20.7	21		
NRMSE			3.5%		3.4%		2.5%		
MBE			0.87 day		3.1 day		0.4 t ha ⁻¹		
d value			0.95		0.99		0.99		
n			8		8		8		

DAS: Day after sowing



شکل ۱- اعتبارسنجی عملکرد دانه دو رقم سینگل کراس ۲۶۰ و ۷۰۴

Fig. 1- Validation of grain yield for the K.SC 704 and K.SC 704 260 cultivars

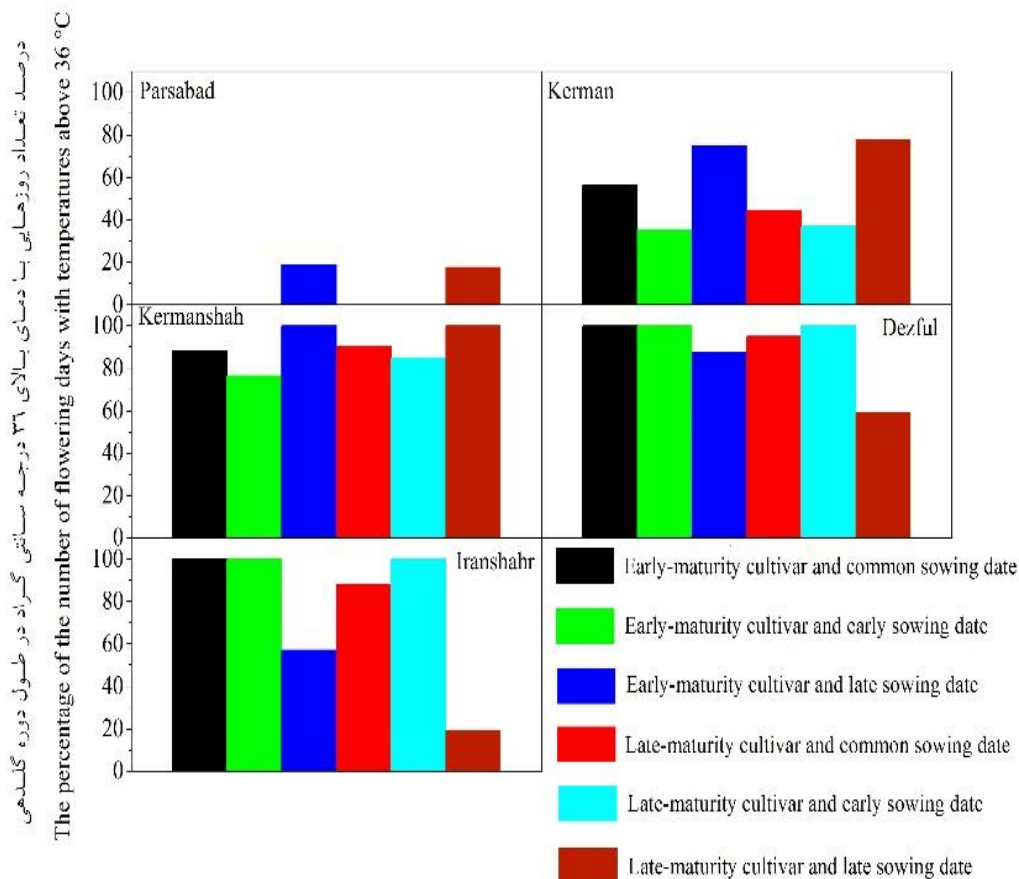


شکل ۲- دامنه‌ی مخاطرات تنش گرما برای ذرت دانه‌ای در منطقه‌های مختلف و زمان گلدهی ذرت در تیمارهای مختلف. دامنه‌ای خاکستری نشان دهنده دامنه‌ی مخاطرات تنش گرما برای ذرت دانه‌ای است و طول باکس پلات‌ها نشان دهنده تغییرات زمان گلدهی (روز سال) در شبیه‌سازی بلند مدت است.

Fig. 2- Risk windows of heat stress for grain maize in different locations and maize flowering time in different treatments. Gray windows are equal to risk windows of heat stress for grain maize and the length of each box denotes variability in the flowering time (day of the year) across the long-term simulations

ژنتیکی ارقام مختلف ذرت انجام شد، نشان داد که بیشترین (۱۰۲۵/۸۱ درجه روز رشد) و کمترین (۸۷۶/۰۸ درجه روز رشد) درجه روز رشد برای دوره رشد رویشی در رقم‌های دیررس سینگل کراس ۷۰۴ و زودرس دابل کراس ۳۷۰ به- ترتیب به‌دست آمد (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر اثبات شد که میزان درجه روز رشد از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در هیبریدهای دیررس بیشتر از هیبریدهای میان‌رس و زودرس است و بنابراین هیبریدهای دیررس در طی فصل رشد به درجه روز رشد بیشتری برای تکمیل دوره رشد رویشی نیاز دارند (Dwyer *et al.*, 2003).

استفاده از تاریخ کاشت‌های زود هنگام در کشت بهاره، سبب کاهش درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت می‌شود و در نقطه مقابل در کشت تابستانه تاریخ کاشت‌های دیر هنگام موجب جابجایی دوره گلدهی و تشکیل آن در خارج از دامنه می-شوند. این موضوع با کاربرد رقم بهینه بسیار مؤثرتر است. ارقام زودرس به‌طور معمول دارای طول دوره رشد رویشی کمتری نسبت به ارقام دیررس هستند و استفاده از این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر مدیریتی در نظر گرفته شود. تفاوت طول دوره رشد رویشی متفاوت ارقام زودرس و دیررس را می‌توان به‌خوبی در مطالعه‌ای در غرب ایران مشاهده کرد. این مطالعه که به‌منظور تعیین ضرایب



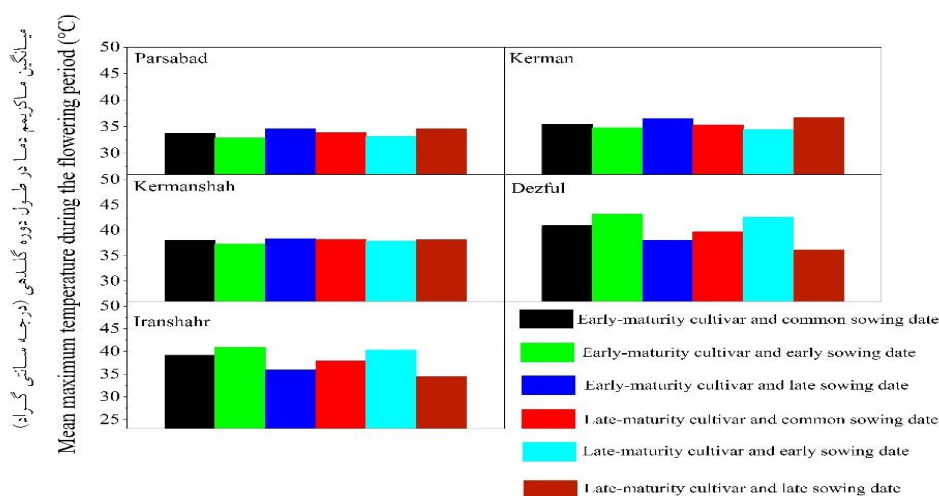
شکل ۳- درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت در منطقه‌ها و تیمارهای مختلف

Fig. 3- The percentage of the number of maize flowering days with temperatures above 36 °C in different locations and treatments

توجه همزمان به تاریخ کاشت و رقم و کاربرد بهینه این دو فاکتور در بوم‌نظام‌های ذرت دانه‌ای کشور می‌تواند مقدار شدت تنش گرما را کاهش دهد و این مقدار برای حالت بهینه این دو فاکتور (تاریخ دیرهنگام \times رقم دیررس برای فصل کشت تابستانه و رقم زودرس \times تاریخ کشت زودهنگام برای فصل کشت بهاره) $35/1$ درجه سانتی‌گراد شبیه‌سازی شد (شکل ۲). در بسیاری از مطالعات نیز توجه همزمان به نقش ژنتیک (رقم) و مدیریت (تاریخ کاشت) و محیط (فصل کشت) به‌عنوان راهکاری مناسب برای بهبود کارکرد گیاه مورد توجه قرار گرفته است (Anderson, 2010; He *et al.*, 2019; Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی اثرهای تنش بعد از گلدهی بر برنج (*Oryza sativa*) در جنوب چین مشخص گردید که در بیشتر منطقه‌های جنوب این کشور، تغییر فنولوژی گیاه برنج سبب کاهش اثرهای تنش گرما از دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ شده است (Shi *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر روی ذرت در شمال شرق نیجریه نتیجه‌گیری شد که برای کاهش مخاطرات خشکی در منطقه‌های گرم باید ارقام بسیار زودرس در تاریخ کاشت‌های زودهنگام به‌کار گرفته شوند (Kamara *et al.*, 2009). همچنین ارقام زودرس برای وارد شدن به مرحله گلدهی نسبت به ارقام دیررس به‌مقدار درجه روز، رشد کمتری نیاز دارند.

شدت تنش گرما در طول دوره گلدهی

دوره گلدهی ذرت در بوم‌نظام‌های ذرت ایران تحت شدت بالایی از تنش گرما است و شدت تنش گرما برابر $37/09$ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۴). مقدار شدت تنش گرما در منطقه‌های مختلف متغیر بود و از $33/8$ درجه سانتی‌گراد در پارس‌آباد به‌عنوان یک اقلیم معتدل تا $39/7$ درجه سانتی‌گراد در دزفول به‌عنوان یک اقلیم گرم تغییر کرد (شکل ۴). تاریخ کاشت‌های دیرهنگام در کشت‌های بهاره، مقدار شدت تنش گرما را افزایش ($36/62$ درجه سانتی‌گراد) و تاریخ کاشت‌های زودهنگام آن را کاهش ($35/2$ درجه سانتی‌گراد) دادند. در نقطه مقابل و در کشت‌های تابستانه این مقدار توسط تاریخ کاشت‌های دیرهنگام کاهش ($35/3$ درجه سانتی‌گراد) و توسط تاریخ کاشت‌های زودهنگام افزایش ($41/4$ درجه سانتی‌گراد) پیدا کرد (شکل ۴). کاربرد ارقام با طول دوره رسیدگی متفاوت نیز نقش بسزایی در کاهش یا افزایش شدت تنش گرما در فصل کشت‌های مختلف داشت. به‌طور کلی در سراسر تاریخ کاشت‌ها و منطقه‌ها، شدت تنش گرما در رقم دیررس ($35/9$ درجه سانتی‌گراد) نسبت به رقم زودرس ($35/8$ درجه سانتی‌گراد) در کشت بهاره بیشتر و این مقدار در کشت‌های تابستانه در رقم دیررس ($38/5$ درجه سانتی‌گراد) نسبت به رقم زودرس ($39/7$ درجه سانتی‌گراد) کمتر بود (شکل ۴).



شکل ۴- میانگین ماکزیمم دما در طول دوره گلدهی ذرت در منطقه‌ها و تیمارهای مختلف

Fig. 4- The mean maximum temperature during the flowering period in different locations and treatments

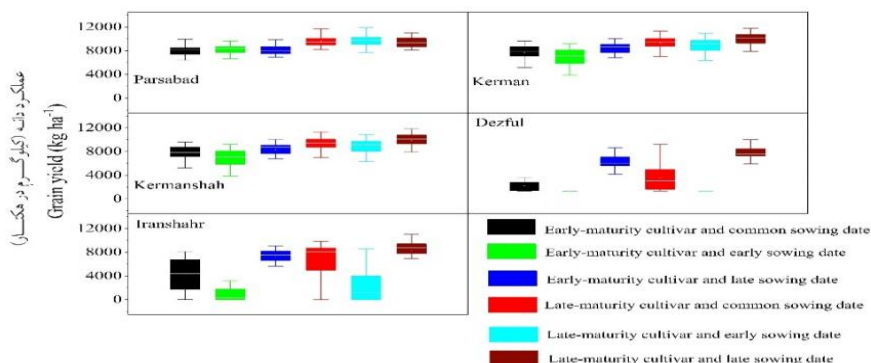
عملکرد دانه

این موضوع می‌باشد که تحت شرایط، نبود محدودیت رقم-های دیررس نسبت به ارقام زودرس دارای عملکرد دانه بالاتری هستند (Sharma et al., 2008; Liu et al., 2013). کمترین مقدار عملکرد دانه (عدم تشکیل عملکرد) در منطقه دزفول و در دو رقم زودرس و دیررس تحت تاریخ کاشت زود هنگام به دست آمد. بنا بر شکل ۲، مشاهده می‌شود دوره گلدهی تیمارهای مختلف در شهرستان دزفول به طور کامل در دامنه‌ی مخاطرات قرار گرفته‌اند. در اینجا توجه به شدت مخاطرات بسیار ضروری می‌باشد و همچنین شدت مخاطرات گرما سبب اختلاف بالای عملکرد در تیمارهای مختلف شده است. به عنوان نمونه، شدت مخاطرات گرما دو رقم زودرس و دیررس تحت تاریخ کاشت زود هنگام (به ترتیب ۴۳/۱ و ۴۲/۵ درجه سانتی‌گراد) در دیگر تیمارها بسیار بیشتر است. نتایج رگرسیون بین میانگین ماکزیمم دما در طول دوره گلدهی و تعداد دانه در متر مربع ذرت نیز مؤید این موضوع است به طوری که افزایش میانگین ماکزیمم دما در طول دوره گلدهی به ازای یک درجه سانتی‌گراد، منجر به کاهش ۱۰۹۰/۱ دانه در متر مربع می‌شود (شکل ۶). مطالعات نشان می‌دهند که ذرت در مرحله گلدهی نسبت به تنش گرما و دماهای حدی بسیار حساس می‌باشد چرا که دماهای بالا سبب عقیمی دانه‌گرده و به موازات آن کاهش عملکرد دانه می‌شود (Carberry et al., 1989; Dupuis and Dumas, 1990; Stone, 2000; Gourdjji et al., 2013). در حال حاضر، کشت ذرت دانه‌ای کشت در دامنه‌ی بالا از مخاطرات گرما و دماهای حدی می‌باشد و استفاده از تاریخ کشت‌های زود هنگام و ارقام زودرس در کشت‌های بهار و تاریخ کاشت‌های دیر هنگام و ارقام دیررس می‌تواند موجب کاهش مخاطرات و افزایش عملکرد را فراهم آورد. همچنین نتایج نشان داد که در نظر گرفتن راهکارهای بیان شده برای مناطقی که دارای دوره مخاطرات بالایی هستند نسبت به منطقه‌های دارای مخاطرات کمتر بسیار ضروری می‌باشد. استفاده از این راهکارهای در دیگر بوم‌نظام‌های ذرت جهان نیز مورد تأکید و استفاده است. به عنوان نمونه، در یک آزمایش شبیه‌سازی در جنوب توگو با استفاده از مدل شبیه سازی DSSAT نشان داده شد که ترکیب بهینه رقم

میانگین عملکرد در بوم‌نظام‌های ذرت دانه‌ای کشور در سراسر منطقه‌ها، تاریخ کاشت‌ها، اقلیم‌ها و ارقام برابر با ۶۱۹۶/۵ کیلوگرم بود (شکل ۵). بنا بر شکل ۵، مقدار عملکرد دانه در اقلیم‌ها، منطقه‌ها و تیمارهای مختلف، متفاوت بود. این تغییرات بخوبی در شکل ۵ و منطقه پارس-آباد و دزفول قابل مشاهده است به طوری که در پارس‌آباد با توجه به مخاطرات کم، تنش گرما نسبت به دیگر منطقه‌ها (شکل ۲)، تغییرات عملکرد دانه ذرت (طول باکس پلات‌ها در شکل ۵) در تمامی تیمارهای رقم و تاریخ کاشت، بسیار کم می‌باشد. در نقطه مقابل در شهرستان دزفول با توجه به مخاطرات بالا، دوره گلدهی، شدت و فراوانی دماهای حدی، تغییرات عملکرد دانه در تیمارهای مختلف از عدم تشکیل عملکرد تا ۸۶۸۵/۶ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (شکل ۵). بالاترین عملکرد دانه با ۱۰۰۸۹/۳ کیلوگرم در هکتار در منطقه کرمان، تاریخ کاشت زود هنگام و رقم دیررس به دست آمد. دلیل این موضوع، نبود مخاطرات و استفاده کامل از طول فصل رشد با استفاده از یک رقم دیررس بود. بنا بر شکل ۲، مشخص می‌باشد در شهرستان کرمان دو رقم زودرس و دیررس تحت تاریخ کاشت زود هنگام توانسته‌اند که گلدهی خود را خارج از دامنه مخاطرات تشکیل دهند و این موضوع موجب می‌شود که تشکیل تعداد دانه در این دو رقم و تاریخ کاشت کاهش پیدا نکند. این موضوع را می‌توان در شکل ۶ و رابطه تعداد دانه با تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی مشاهده کرد. با افزایش تعداد روزهای با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی تعداد دانه کاهش پیدا می‌کند و شیب خط رابطه این پارامتر برابر با ۳۶۱/۸- است. با این وجود که گلدهی دو رقم تحت تاریخ کاشت زود هنگام در شهرستان کرمان، در خارج از دامنه مخاطرات تشکیل شده است ولی مقدار عملکرد دانه در رقم دیررس بیشتر است. این موضوع مربوط به طول دوره رسیدگی می‌باشد. در واقع رقم دیررس سینگل کراس ۷۰۴ با طول دوره رسیدگی بالاتر، رشد بیشتر و طول دوره پرشدن بیشتر کارکرد بالاتری دارد. بسیاری از مطالعات تیز نشان دهنده

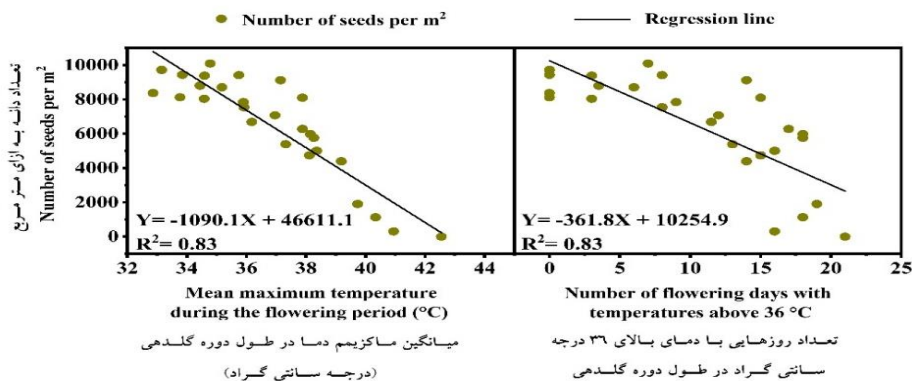
Bontkes and Wopereis, (2003) کاهش عملکرد را کم کند (زودرس یا متوسط رس) و تاریخ کاشت زود هنگام (۱۲ آپریل) می تواند عملکرد دانه ذرت را افزایش و مخاطرات

کاهش عملکرد را کم کند (زودرس یا متوسط رس) و تاریخ کاشت زود هنگام (۱۲ آپریل) می تواند عملکرد دانه ذرت را افزایش و مخاطرات



شکل ۵- عملکرد دانه ذرت در منطقه‌ها و تیمارهای مختلف

Fig. 5- Grain yield of maize in different locations and treatments



شکل ۶- آنالیز رگرسیون بین تعداد دانه، تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی و میانگین ماکزیمم دما در طول دوره گلدهی ذرت

Fig. 6- Regression analysis of the grain yield, number of maize flowering days with temperatures above 36 °C and mean maximum temperature during the flowering period.

وجود تاریخ کاشت‌های زود هنگام و رقم زودرس در کشت بهاره درصد تعداد روزهایی با بیشینه دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت (۳۷/۲ درصد) و شدت تنش گرما (۳۵/۱ درجه سانتی‌گراد) را کاهش و عملکرد دانه را به ۷۴۸۶/۹ کیلوگرم افزایش داد. همچنین تاریخ کاشت‌های دیرهنگام و رقم دیررس در کشت تابستانه، درصد تعداد روزهایی با بیشینه دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت (۳۸/۹ درصد) و شدت تنش گرما (۳۵/۳ درجه سانتی‌گراد) را کاهش و عملکرد دانه را به ۷۷۴۳/۶ کیلوگرم افزایش داد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که دامنه‌ی مخاطرات گرما برای بوم‌نظام- های ذرت ایران به‌طور میانگین ۹۴/۴ روز بود و این بازه از اواسط ماه فروردین شروع و تا اواسط ماه آبان ادامه داشت که در منطقه‌ها و اقلیم‌های مختلف متفاوت بود. همچنین درصد تعداد روزهایی با دمای بالای ۳۶ درجه سانتی‌گراد در طول دوره گلدهی ذرت برابر با ۶۳/۵ درصد و شدت تنش گرما برابر ۳۷/۰۹ درجه سانتی‌گراد بود. این موضوع سبب کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای کشور می‌شود به‌طوری‌که عملکرد دانه در حال حاضر برابر ۶۱۹۶/۵ کیلوگرم شبیه‌سازی شد. با این

¹ Weather Data Manager² Extraterrestrial radiation³ Trial-and-error⁴ Coefficient of determination⁵ Normalized root mean square error⁶ Index of agreement⁷ Mean bias error

منابع

Anderson, W., 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research*. 116(1), 14–22.

Anonymous, 2016. Research center for agriculture and natural resources of Fars Province. 2016. Series reports of yield and stability in early maturity maize hybrids in 2007, 2008, 2011 and 2012. Available online at: <http://fars.areeo.ac.ir>.

Anonymous, 2017a. Agricultural statistics. Department of planning and economy. Information and communication center. Ministry of agriculture Jihad, Iran. Available online at: <https://www.maj.ir/>

Anonymous, 2017b. Tehran chamber of commerce, industries, mines and agriculture. economic research department. The trade state of agricultural products and food during the first nine months of 2017. Available online at: <http://en.tccim.ir/>.

Bontkes, T.S. and Wopereis, M., 2003. Decision Support Tools for Smallholder Agriculture in Sub-Saharan Africa. A Practical Guide. International Center for Soil Fertility and Agricultural Development (IFDC), Muscle Shoals, AL, USA, and Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Wageningen, Netherlands.

Butler, E.E. and Huybers, P., 2013. Adaptation of US maize to temperature variations. *Nature Climate Change*. 3(1), 68-72.

Carberry, P., Muchow, R. and McCown, R., 1989. Testing the CERES-maize simulation model in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*. 20(4), 297–315.

Chenu, K., Deihimfard, R. and Chapman, S.C., 2013. Large-scale characterization of drought pattern: a continentwide modelling approach applied to the Australian wheatbelt—spatial and temporal trends. *New Phytologist*. 198, 801–820.

Chenu, K., 2014. Characterizing the crop environment–nature, significance and applications. In Sadras, V. and Calderini, D. (Eds.), *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Academic Press, Massachusetts, USA.

Choukan, R., 2013. Final Report of Yield Trial and Adaptability of Late and Medium Maturing Promising Hybrids of Maize (Final Stage). Seed and Plant Improvement Institute, Iran. (In Persian with English abstract).

Crafts-Brandner, S.J. and Salvucci, M.E., 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiology*. 129(4), 1773–1780.

Dehghanpour, Z. and Estakhr, A., 2010. Determination of the suitable planting date for new early maturity maize hybrids in second cropping in temperate regions in Fars province. *Seed Plant Production Journal*. 26(2), 169-191. (In Persian with English abstract).

Deihimfard, R., Mahallati, M.N. and Koocheki, A., 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research*. 184, 28-38.

Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S. and Chenu, K., 2019. Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*. 13, 1-11.

- Dupuis, I. and 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(2), 665–670.
- Dwyer, L.M., Evanson, L. and Hamilton, R.I., 2003. Maize physiological traits related to grain yield and harvest moisture in mid-to short season environments. *Crop Science*. 34, 985-992.
- Emam, Y., Sedaghat, M. and Bahrani, H., 2013. Responses of maize (SC704) yield and yield components to source restriction. *Iran Agricultural Research*. 32(1), 31-40. (In Persian with English abstract).
- Estakhr, A. and Choukan, R., 2011. Effect of planting date on grain yield and its components and reaction to important maize viruses in Fars Province in some exotic and Iranian maize hybrids. *Seed Plant Production Journal*. 27(3), 313-333. (In Persian with English abstract).
- Goldani, M., Rezvani, M.P., Nassiri, M.M. and Kaffi, M., 2011. Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea may* L.) on response to different densities. *Journal of Plant Production Research*. 18, 1-26. (In Persian with English abstract).
- Gourdji, S.M., Sibley, AM. and Lobell, D.B., 2013. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*. 8(2), 1-11.
- Hammer, G.L., van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P. and Muchow, R.C., 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany*. 61(8), 2185–2202.
- Hasanzadeh, M.H. and Dehghanpour, Z., 2010. Final report of the study of yield and compatibility in early maturity maize hybrids. Center of Agriculture research and nature resources of Khorasan Razavi province. Iran. (In Persian with English abstract).
- He, D., Wang, E., Wang, J. and Lilley, J.M., 2017. Genotype× environment× management interactions of canola across China: a simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology*. 247, 424-433.
- He, D., Wang, E., Wang, J. and Robertson, M.J., 2017. Data requirement for effective calibration of process-based crop models. *Agricultural and Forest Meteorology*. 234, 136–148.
- Holzworth, D.P., Huth, N.I., Zurcher, E.J., Herrmann, N.I., McLean, G., Chenu, K., van Oosterom, E.J., Snow, V., Murphy, C., Moore, A.D. and Brown, H., 2014. APSIM—evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. *Environmental Modelling and Software*. 62, 327–350.
- 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. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Kamara, A.Y., Ekeleme, F., Chikoye, D. and Omoigui, L.O., 2009. Planting Date and cultivar effects on grain yield in dryland corn production. *Agronomy Journal*. 101, 91–98.
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N., Meinke, H., Hochman, Z. and McLean, G., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*. 18(3), 267–288.
- 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. *Global Change Biology*. 19(11), 3481-3492.
- Madadzadeh, M., 2017. Simulation of growth and development of current maize (*Zea mays* L.) hybrids under different nitrogen levels in Kerman Province, Iran. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

- Makowski, D., Naud, C., Jeffroy, M.H., Barbtin, A. and Monod, H., 2006. Global sensitivity analysis for calculating the contribution of genetic parameters to the variance of crop model prediction. *Reliability Engineering & System Safety*. 91, 1142-1147.
- Moeinirad, A., Pirdashti, H., Eaghanehpour, F. and Mokhtarpour, H., 2013. Effect of sowing date and plant density on phenology, morphology and yield of Maize cv. KSC704 in Gorgan. *Journal of Research in Crop Sciences*. 19, 41- 56. (In Persian).
- Moradi, R., Koocheki, A., Mahallati, M.N. 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(2), 265-284.
- Naderi, F., Siadat, S.A. and Rafiee, M., 2010. Effect of planting date and plant density on grain yield and yield components of two maize hybrids as second crop in Khorram Abad. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 12(1), 31-41. (In Persian).
- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G.A. and Shahandeh, H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). *Archives of Agronomy and Soil Science*. 52(1), 113-124.
- Nassiri, M.M., 2008. Modeling crop growth Processes. Mashhad University Press, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Prescott, J., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of The Royal Society of South Australia*. 64(1), 114–118
- Rahimi-Moghaddam, S., 2013. Determination of genetic coefficients of some maize (*Zea mays* L.) cultivars in Iran to be applied in crop simulation models. M.Sc. Thesis. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Kambouzia, J., Nazariyan Firuzabadi, F. and Eyni Nargeseh, H., 2015. Determination of genetic coefficients of some maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for application in crop simulation models. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(2), 328-339. (In Persian with English abstract).
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and 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.
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2019. Optimal genotype × environment × management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicators*. 107, 1-16.
- Saberi, A., Ghoshchi, F., Sirani, S. and Safahani, A., 2008. Effect of plant density and planting pattern on grain yield of maize cv. KSC704 in Gorgan. *Seed Plant Production Journal*. 19, 96-111. (In Persian).
- Salehi, B., 2005. Effect of row spacing and plant density on grain yield and yield components in maize (cv. Sc 704) in Miyaneh. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 6(4), 383-395. (In Persian with English abstract).
- Seifert, E., 2014. OriginPro 9.1: scientific data analysis and graphing software—software review. *Journal Chemical Information and Modeling*. 54(5), 1552–1552.
- Sharma, D.L., D'Antuono, M.F., Anderson, W.K., Shackley, B.J., Zaicou-Kunesch, C.M. and Amjad, M., 2008. Variability of optimum sowing time for wheat yield in Western Australia. *Crop and Pasture Science*. 59(10), 958–970.
- Shi, P., Tang, L., Wang, L., Sun, T., Liu, L., Cao, W. and Zhu, Y., 2015. Post-heading heat stress in rice of south China during 1981-

2010. PLOS ONE. 10(6), e0130642. DOI:
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130642>.

Stone, P., 2000. The Effects of Heat Stress on Cereal Yield and Quality. In A.S. Basra eds. Crop Responses and Adaptations to Temperature Stress. Food Products Press, Inghamton, USA.

Tebaldi, C. and Lobell, D., 2018. Differences, or lack thereof, in wheat and maize yields under three low-warming scenarios open access differences, or lack thereof, in wheat and maize yields under three low-warming scenarios. Environmental Research Letters. 13(6), 065001.

Teixeira, E.I., Fischer, G., van Velthuisen, H., Walter, C. and Ewert, F., 2013. Global hot-spots of heat stress on agricultural crops due to climate change. Agricultural and Forest Meteorology. 170, 206-215.

Wallach, D. and Goffinet, B., 1987. Mean squared error of prediction in models for studying economic and agricultural systems. Biometrics. 43, 561–576.

Watson, J., Zheng, B., Chapman, S. and Chenu, K., 2017. Projected impact of future climate on water-stress patterns across the Australian wheatbelt. Journal of Experimental Botany. 68(21-22), 5907-5921.

Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society. 63, 1309–1313.





Environmental Sciences Vol.18/No.3/Autumn 2020

85-106

Simulating the risk of heat stress on grain maize production under arid and semi-arid conditions

Khosro Azizi* and Sajjad Rahimi-Moghaddam

Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agricultural, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

Received: 2019.12.17 Accepted: 2020.01.15

Azizi, K. and Rahimi-Moghaddam, S., 2020. Simulating the risk of heat stress on grain maize production under arid and semi-arid conditions. *Environmental Sciences*. 18(3): 85-106

Introduction: Heat stress is one of the most important threats and concerns for maize production, which mostly occurs in hot and dry areas. Heat stress reduces grain yield and the plant's photosynthesis rate and increases transpiration. Maize is very sensitive to heat stress and extreme temperatures at the flowering stage because extreme temperatures decrease pollen germination ability, and thus, decrease grain yield. However, there are some strategies to prevent the maize flowering stage from being exposed to heat stress. Careful management practices including adjusting the sowing time and cultivar can be considered as useful strategies to deal with heat stress. Crop simulation models can be used to investigate these practices. Therefore, the present study was carried out to evaluate the risk of heat stress (frequency and intensity of heat) on grain maize of Iran and evaluate the risk window for grain maize using the modeling approach.

Material and methods: In order to evaluate the risk of heat stress in maize agroecosystems of Iran, a simulation experiment was designed in five regions (Iranshahr, Dezful, Parsabad, Kermanshah, and Kerman), three sowing times (common: farmers sowing time in each region; late: 20 days after common sowing time; early: 20 days before common sowing time), and two cultivars (SC704 and SC260 as late- and early-maturity cultivars, respectively). To do this, the long-term climatic data of each region including minimum and maximum temperatures, rainfall, and radiation were collected from Iran Meteorological Organization. These data were applied as inputs of the crop simulation model. In this study, the APSIM model was employed to simulate the growth and development of the maize plant. In order to assess the risk of heat stress on grain maize, three dimensions including the critical stage of grain maize to extreme temperatures (flowering), frequency of extreme temperatures at the critical stage, and intensity of extreme temperatures at the critical stage were evaluated. Furthermore, the risk window for maize flowering in each region was equal to the first day of the year with a temperature of over 36 °C until the last day of the year with a temperature above 36 °C.

Results and discussion: The highest risk window of extreme temperatures was recorded in Iranshahr County (183 days) as a hot and dry region and the lowest risk window was simulated in Parsabad (14 days) as a semi-arid

* Corresponding Author: *Email Address*. azizi.kh@lu.ac.ir

and temperate region. Moreover, the percentage of the number of maize flowering days with temperatures above 36 °C and the mean maximum temperature during the flowering period were 63.5% and 37.09 °C, respectively. This issue reduced the grain yield of maize in Iran so that the grain yield was simulated 6196.5 kg ha⁻¹. However, in the spring season, the early sowing time and the early-maturity cultivar decreased the percentage of the number of maize flowering days with temperatures above 36 °C (37.2%) and mean maximum temperature during the flowering period (35.1 °C) and increased grain yield (7486.9 kg ha⁻¹). Overall, in the summer, the percentage of the number of maize flowering days with temperatures above 36 °C and mean maximum temperature during the flowering period were decreased 38.9% and 35.3 °C, respectively, and grain yield was boosted to 7743.6 kg ha⁻¹ under the combination of late sowing time and late-maturity cultivar.

Conclusion: The results showed that grain maize is currently cultivated by farmers under high-risk conditions of heat stress. In order to reduce the risk and increase grain yield, farmers in each region should apply the optimal sowing times and cultivars according to the growing season.

Keywords: Cultivar, Heat stress, Flowering, Sowing time.