"مجله علوم زراعی ایران"
جلد بیستم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٧

شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) در استان کرمانشاه با استفاده از یک مدل فرآیندگرا

Simulating climate change effect on maize grain yield in Kermanshah province using a process-based simulation model

سجاد رحیمی‌مقدم[1]، حامد عینی نرگسه[2]، رضا دیهیم‌فرد[3] و مسعود حقیقت[4]

چکیده

رحیمی مقدم. س.، ح. عینی نرگسه، ر. دیهیم فرد و م. حقیقت. ١٣٩٧. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) در استان کرمانشاه با استفاده از یک مدل فرآیندگرا. **مجله علوم زراعی ایران. ٢٠(٣): ٣٢٨-٣١٥.**

افزایش دمای حاصل از تغییر اقلیم فرآیندهای مختلف گیاهی مانند فتوسنتز، تنفس و توزیع و تخصیص تولیدات فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیق حاضر به‌منظور پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه ذرت در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator) برای دوره ٢٠٤٠ تا ٢٠٧٠ در سه شهرستان کرمانشاه، کنگاور و اسلام‌آباد غرب انجام شد. برای این منظور، وضعیت اقلیمی آینده با استفاده از داده‌های اقلیمی بلندمدت پایه این شهرستان‌ها و با استفاده از روش AgMIP (The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) برای سال‌های ٢٠٤٠ تا ٢٠٧٠ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که در هر سه منطقه مورد بررسی، میانگین دما در سناریوهای RCP4.5 (Representative Concentration Pathway4.5) و RCP8.5 (Representative Concentration Pathway8.5) به‌طور متوسط به‌ترتیب ١١ و ٢٣ درصد افزایش خواهد یافت. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل APSIM نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ذرت در دوره پایه در شهرستان کنگاور (١٤٣٩٩ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار در شهرستان کرمانشاه (٧٧٤١ کیلوگرم در هکتار) بوده است. نتایج شبیه‌سازی در شرایط تغییر اقلیم در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد که با افزایش میانگین دما در طول فصل رشد (به ترتیب ٠/٥ و ٢ درجه سانتی‌گراد) و کاهش طول فصل رشد (به ترتیب ٥ و ٦ درصد)، عملکرد دانه ذرت در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ٦٩ و ٩٠ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم، گلدهی ذرت در دماهای بالا انجام می‌شود و این موضوع باعث کاهش عملکرد دانه این گیاه می‌شود، بنابراین پیشنهاد می‌شود که با تغییر زمان کاشت ذرت در مناطق یاد شده از مصادف شدن دوره حیاتی گل‌دهی با اوج گرما در جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: افزایش دما، ذرت، سناریوی اقلیمی، شبیه‌سازی، AgMIP و مدل رشد گیاه.

تاریخ دریافت: ١٣٩٧/٠٤/٠٤ تاریخ پذیرش: ١٣٩٧/١٠/١٢

١- دانشجوی سابق دکتری پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی.

٢- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

٣- استادیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی.(مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: deihim@sbu.ac.ir)

٤- مربی گروه هواشناسی کشاورزی سازمان هواشناسی کشور.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم به موضوع مهمی در مجامع علمی سراسر دنیا تبدیل شده است و مطالعات مختلفی در این زمینه به انجام رسیده است (Luo *et al.,* 2015). یکی از جنبه‌های تغییر اقلیم گرمایش جهانی است (Luo *et al.,* 2015). به گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)، میانگین دمای سطح زمین در طی ۱۳۰ سال گذشته (۲۰۱۲-۱۸۸۰ میلادی) ۱/۰۶-۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, 2013a). همچنین گزارش شده که دمای سطح زمین تا انتهای قرن ۲۱، ۱/۵ الی ۴ درجه سانتی‌گراد، نسبت به دوره پایه (۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی)، افزایش خواهد داشت و این افزایش بعد از سال ۲۱۰۰ نیز ادامه خواهد یافت (IPCC, 2013b). افزایش دما فرآیندهای مختلف گیاهی مانند فتوسنتز، تنفس و توزیع و تخصیص تولیدات فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم ممکن است باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و پاسخ‌های رشدی پیچیده در آنها شود، با این وجود اثرات افزایش دما در مناطق و گیاهان مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد (Gohari *et al.,* 2013). برای مثال یو و همکاران (You *et al.,* 2009) گزارش کردند که یک درجه افزایش دما در طول فصل رشد گندم می‌تواند عملکرد دانه را ۳ تا ۱۰ درصد کاهش دهد. در یک آزمایش توسط آریا و همکاران (Araya *et al.,* 2015) اثر تغییرات اقلیمی با استفاده از روش AgMIP روی گیاه ذرت با استفاد از دو مدل APSIM و CERES (The Crop Environment Resource Synthesis) تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 بررسی شد. نتایج نشان داد که دو مدل با دقت بالایی عملکرد گیاه ذرت را شبیه سازی کردند. بعلاوه نتایج نشان داد که عملکرد گیاه ذرت تحت هر دو سناریوی اقلیمی تا پایان قرن ۲۱ به طور میانگین ۴ تا ۶/۴ درصد کاهش خواهد یافت.

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم، ابزارهای متنوعی برای اندازه‌گیری اثرات آن ابداع شده‌اند. یکی از راهکارهای‌های کم‌هزینه و سریع، استفاده از رهیافت مدل‌سازی و مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی است (Deihimfard *et al.*, 2015; Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018). مدل‌های شبیه‌سازی، رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را پیش‌بینی کرده و با استفاده از آن‌ها می‌توان اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی را از طریق گزینه‌های کاهش دهنده اثرات منفی مانند تنظیم تاریخ کشت، تغییر الگوی کشت، کشت ارقام مقاوم به گرما و ترویج گیاهان زراعی جدید (گیاهان فراموش‌شده و کمتر استفاده شده)، تعدیل کرد (Chenu *et al.,* 2017; Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018). رحیمی‌مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018) در آزمایشی اثر تغییرات آب و هوایی بر تولید ذرت در استان خوزستان را با استفاده از مدل APSIM تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از روش AgMIP مورد ارزیابی قرار داده و گزارش دادند که افزایش دما باعث افزایش مخاطره‌های تولید و کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای می‌شود، به طوری که با افزایش ۲/۳۳ و ۳/۲۹ درجه سانتی‌گراد عملکرد دانه ذرت در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب ۱۳/۷ و ۲۲/۸ کاهش می‌یابد. در آزمایش دیگری مدل CERES و روش AgMIP به منظور ارزیابی آب و هوای آینده پاناما بر عملکرد ذرت و اثر تنش آبی انتهای فصل بر این گیاه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش دما باعث کاهش طول دوره رشد و تسریع در طول دوره رسیدگی می‌شود و این موضوع باعث کاهش تنش انتهای فصل در گیاه ذرت و کاهش عملکرد این گیاه می‌شود (Ruane *et al.,* 2015).

ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار داشته و با توجه به ساختارهای زیست محیطی خاص خود نسبت به تغییرات محیطی آسیب‌پذیر است، بنابراین به

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

نظر می‌رسد که وقوع احتمالی تغییرات اقلیمی اثر قابل توجهی بر سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Eyshi Rezaie and Bannayan, 2012). یکی از محصولات کشاورزی که در کشور از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد، ذرت است. این گیاه تقریباً در سراسر کشور در شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت کشت می‌شود (Moradi *et al.*, 2013). به گزارش سازمان خواروبار جهانی سطح زیر کشت ذرت در ایران ۳۹۵ هزار هکتار و تولید کل آن ۲۶۰۰۰۰۰ تن است (FAO, 2014). استان کرمانشاه با ۳۳۹۰۷ هکتار (۱۴/۵ درصد از کل سطح زیر کشت کشور) و تولید سالیانه ۳۰۵۶۰۸ تن دانه (۱۸/۴ درصد کل تولید کشور)، دومین مقام کشور را، هم از نظر سطح زیر کشت و هم از نظر میزان تولید دارد (Anonymous, 2014). با توجه به اهمیت محصول ذرت در استان کرمانشاه و کم‌هزینه و سریع بودن رهیافت مدل‌سازی، این تحقیق با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم آینده بر رشد، نمو و عملکرد دانه ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سه شهرستان کرمانشاه، کنگاور و اسلام‌آباد غرب در استان کرمانشاه انجام شد. مشخصات جغرافیایی مناطق یاد شده در جدول ۱ ارائه شده است. استان کرمانشاه با مساحت ۲۴۶۴۰ کیلومترمربع در غرب کشور واقع شده و ۱/۵ درصد مساحت ایران را دارا است. استان کرمانشاه از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود (شکل ۱).

در این تحقیق داده‌های بلندمدت اقلیمی که برای پیش‌بینی اقلیم آینده استان کرمانشاه و شبیه‌سازی رشد ذرت استفاده شد شامل دمای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر) و تعداد ساعات آفتابی بودند که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شدند. پس از جمع‌آوری داده‌های بلندمدت روزانه، به دلیل این‌که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی داده‌های ثبت نشده و یا پرت وجود داشت، با استفاده از برنامه WeatherMan (Weather Data Manager) (Hoogenboom *et al.*, 2003) داده‌های پرت و گم‌شده اصلاح و بازسازی شدند. همچنین با توجه به این‌که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تابش ثبت نمی‌شود، با استفاده از تعداد ساعات آفتابی و با استفاده از رابطه آنگستروم (Prescott, 1940)، میزان تابش روزانه در هر ایستگاه تخمین زده شد.

به‌منظور برآورد وضعیت اقلیمی آینده در مناطق مورد بررسی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تولید ذرت، از مدل گردش عمومی HadGEM2 استفاده شد. برای استفاده از این مدل و ریزمقیاس کردن داده‌های آن، روش AgMIP (AgMIP 2013) مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش‌های پیشین افزایش یافته است. در سناریوهای RCP (Representative Concentration Pathway)، محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از میزان تولید گازهای گلخانه‌ای نسبت به سناریوهای SRES (Special Report on Emission Scenario–گزارش چهارم) ارائه شده و بطورکلی عدم قطعیت‌ها در گزارش پنجم کاهش یافته است. به طور میانگین سناریوی‌ها در گزارش پنجم شامل سناریوهای خوش‌بینانه، حد و واسط وبدبینانه هستند. سناریو RCP4.5 جزء سناریوهای حد واسط است که در آن میانگین دما تا اواسط قرن جاری به سرعت افزایش یافته و از اواسط قرن به بعد کند می‌شود، درحالی‌که سناریوی RCP8.5 یک سناریو بدبینانه است که در آن افزایش دما از ۲۰۸۰ به بعد سریع‌تر از دوره ۲۰۳۵ تا ۲۰۸۰ می‌باشد. توضیحات تکمیلی در مورد این سناریوها توسط موس و همکاران

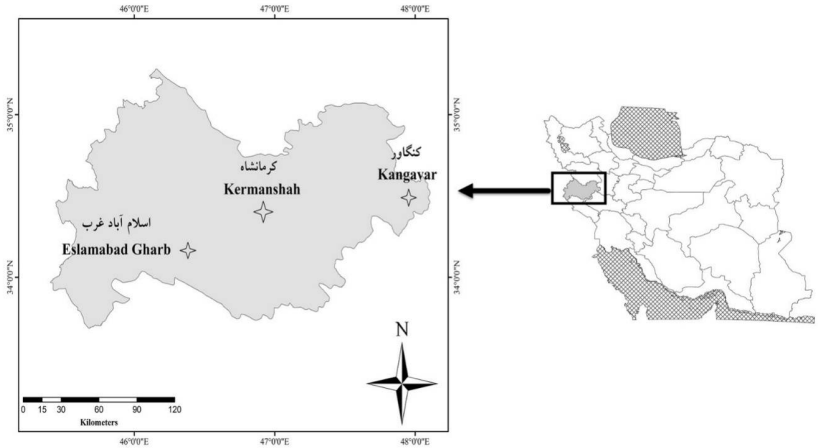
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی بلند مدت مناطق مورد مطالعه

Table 1. Long term climatic information of the experimental locations

منطقه Region		طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	دمای کمینه Minimum temperature (˚C)	دمای بیشینه Maximum temperature (˚C)	دوره پایه برای شبیه سازی Basic period for simulation
Eslamabad Gharb	اسلام‌آبادغرب	46˚ 31′	34˚ 15′	1348	5.06	22.7	1980-2010
Kermanshah	کرمانشاه	46˚ 9′	34˚ 4′	1318	6.72	23.2	1980-2010
Kangavar	کنگاور	47˚ 9′	34˚ 50′	1468	4.53	21.5	1980-2010



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق اجرای تحقیق

Fig. 1. Geographical position of the experimental regions

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

(Moss *et al.,* 2010) و واین (Wayne, 2013) گزارش شده است. در روش AgMIP سناریوهای اقلیمی آینده بر اساس داده‌های حاصل از دوره پایه (دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش) تحلیل می‌شوند. سناریوهای اقلیمی با استفاده از روش سناریوی دلتا و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی که در AgMIP (The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) ارائه شده است، تولید شدند (AgMIP 2013a; AgMIP, 2013b; Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018; Ruane *et al.,* 2015). این روش با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیمی و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارش استوار است (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018; Ruane *et al.,* 2015). در نهایت داده‌های روزانه اقلیمی برای یک دوره آینده (۲۰۴۰ تا ۲۰۷۰) در دو سناریو (RCP4.5 و RCP8.5) با استفاده روش AgMIP تولید شدند.

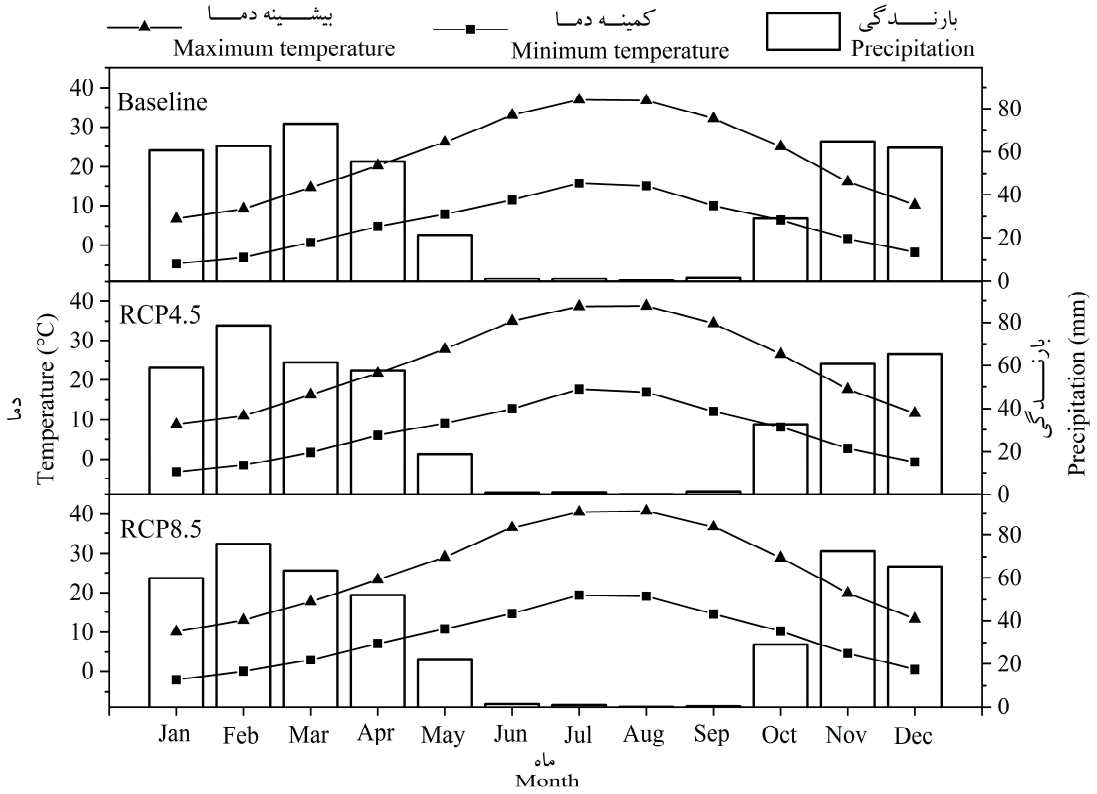
پس از پیش‌بینی شرایط آب و هوایی در شرایط تغییر اقلیم در مناطق مورد بررسی، به‌منظور تعیین عملکرد ذرت در شرایط پتانسیل در استان کرمانشاه از مدل APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator) که یک شبیه‌ساز سیستم‌های تولید کشاورزی است، استفاده شد. مدل APSIM یک مدل شبیه‌سازی فرآیندگرای گیاه زراعی و سیستم‌های زراعی است که توسط واحد تحقیقات APSRU (Agricultural Production Systems Research Unit) ابداع شده است (Keating *et al.,* 2003). وردی‌های مورد نیاز مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد ذرت به‌صورت روزانه شامل اطلاعات آب و هوایی (دما و تابش)، خاک (محتوای آب خاک و نیتروژن خاک)، ضرایب ژنتیکی و اطلاعات مدیریتی هستند. ضرایب ژنتیکی در این تحقیق شامل ضرایب ژنتیکی رقم سینگل کراس ۷۰۴ که بیشترین سطح زیر کشت را در استان کرمانشاه دارد، بود. این ضرایب و این رقم پیش‌تر توسط رحیمی‌مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2017; Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018) در مدل APSIM پارامترسنجی، واسنجی و اعتبارسنجی شده‌اند. اطلاعات مدیریتی شامل تاریخ کاشت بهینه ذرت در استان کرمانشاه و تراکم بهینه رقم (سینگل کراس ۷۰۴) بود که از طریق مکاتبه شخصی با مرکز تحقیقات و منابع طبیعی استان کرمانشاه تهیه شد. پس از اجرای مدل، خروجی‌های موردنظر شامل عملکرد دانه، میانگین دمای هوا در طول فصل رشد ذرت، تابش و بارندگی تجمعی در طول فصل رشد ذرت، شاخص سطح برگ و طول فصل رشد ذرت در شرایط گذشته و آینده در شهرستان‌های مورد مطالعه تجزیه و تحلیل شدند. لازم به ذکر است که مدل گیاهی مورد استفاده در این تحقیق شاخص سطح برگ را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند که در این تحقیق از بیشنه شاخص سطح برگ استفاده شد. برای کلیه تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم افزار OriginPro 9.1 (Seifert, 2014) و R (R Core Team, 2016) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که متغیرهای مورد بررسی در شرایط تغییر اقلیم آینده روند افزایشی خواهند داشت (شکل ۲) و در مناطق مورد بررسی دمای کمینه در سناریوی RCP4.5 به‌طور متوسط از ۵/۳۹ درجه سانتی‌گراد در دوره پایه به ۶/۷۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (۲۵ درصد افزایش دمای کمینه)، درحالی‌که این متغیر اقلیمی در سناریوی RCP8.5 به ۸/۴۷ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید (۵۷ درصد افزایش دمای کمینه). دمای بیشینه نیز همانند دمای کمینه روند افزایشی نشان داد، به‌طوری‌که در سناریوی RCP4.5 از دمای ۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد در دوره پایه به ۲۴ درجه سانتی‌گراد (۷ درصد افزایش دمای بیشینه) و در سناریوی RCP8.5 به ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (۱۵ درصد افزایش دمای بیشینه).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]



شکل ۲- میانگین بلند مدت و ماهانه بارندگی تجمعی، بیشینه و کمینه دما استان کرمانشاه در دوره پایه و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5

Fig. 2. Mean long-term monthly cumulative rainfall and maximum and minimum temperatures of Kermanshah province in the baseline and RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

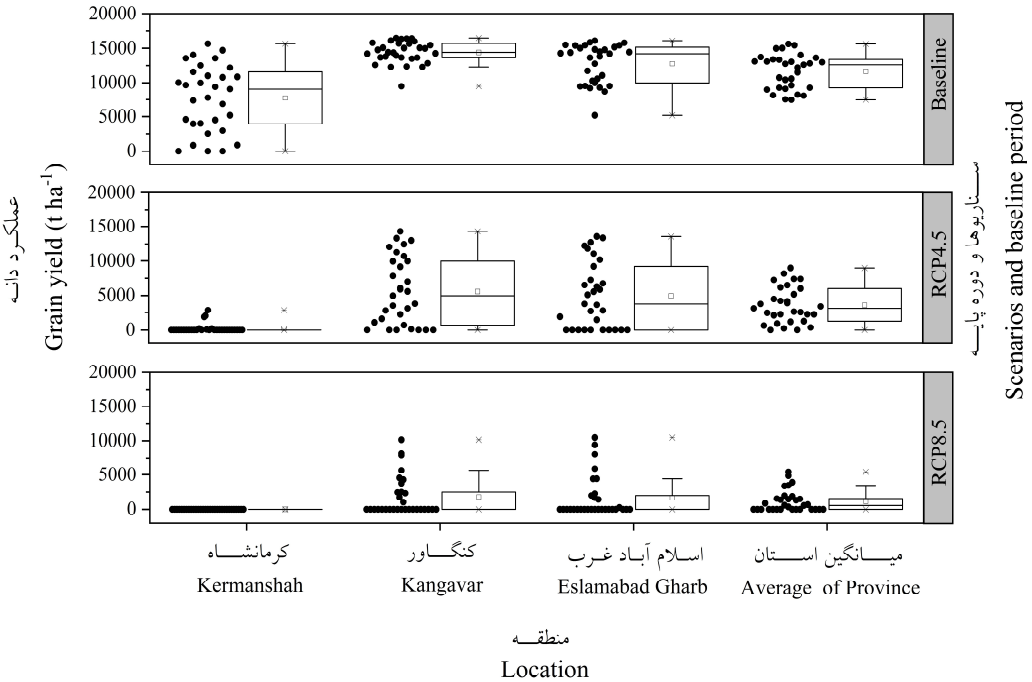
بارندگی نیز در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 از ۴۳۲/۸ میلی‌متر به ترتیب به ۴۳۷/۶ و ۴۴۳/۱ میلی‌متر خواهد رسید (به ترتیب یک و دو درصد افزایش بارندگی).

پس از پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده استان کرمانشاه، رشد و عملکرد دانه ذرت در دو سناریوی اقلیمی (RCP4.5 و RCP8.5) شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه ذرت در هر دو سناریوی مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه به ترتیب ۶۹ و ۹۰ درصد کاهش یافت (شکل ۳).

بر اساس نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل APSIM، بیشترین عملکرد دانه در دوره پایه در شهرستان کنگاور (۱۴۳۹۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن در شهرستان کرمانشاه (۷۷۴۱ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شهرستان کنگاور در مقایسه با مناطق دیگر را می‌توان به طول فصل رشد بیشتر (۱۵۲/۹ روز)، شاخص سطح برگ مناسب (۴/۷) (شکل ۴)، میانگین مناسب دما در طول فصل رشد (۲۱/۵ درجه سانتی‌گراد) و تابش تجمعی بیشتر در طول فصل رشد (۱۸۷۴ مگاژول) نسبت داد (جدول ۲). عملکرد دانه کمتر در شهرستان کرمانشاه در مقایسه با دو منطقه دیگر به دلیل میانگین دمای بالاتر در طول فصل رشد (۲۴/۳ درجه سانتی‌گراد)، تابش تجمعی کمتر (۱۷۱۹ مگاژول) (جدول ۲)، طول فصل رشد کمتر (۱۳۹/۷ روز) و شاخص سطح برگ کمتر بود (شکل ۴).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]



شکل ۳- عملکرد دانه ذرت در سناریوهای آینده و دوره پایه در سه منطقه استان کرمانشاه. نقاط روی شکل نشان‌دهنده سال‌ها هستند

Fig. 3. Maize grain yield under future and baseline periods in experimental regions in Kermanshah province. The points on the figure represent the years

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، عملکرد دانه ذرت در هر دو سناریو در مناطق مورد بررسی کاهش خواهد یافت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که همانند دوره پایه، بیشترین و کمترین عملکرد دانه در مناطق مورد بررسی در سناریوی RCP4.5 در شهرستان‌های کنگاور و کرمانشاه به دست آمد (به ترتیب ۵۵۶۲ و ۲۳۴/۲ کیلوگرم در هکتار). علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شهرستان کنگاور نسبت به مناطق دیگر را می‌توان به کمتر بودن میانگین دما در طول فصل رشد (۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد)، طول فصل رشد بیشتر (۱۴۱/۴ روز)، تابش تجمعی بیشتر در طول فصل رشد (۱۸۲۷ مگاژول) و شاخص سطح برگ مناسب (۴/۷۷) نسبت داد. لازم به ذکر است که در شرایط تغییر اقلیم آینده در شهرستان کنگاور در ۱۸/۷ درصد از سال‌ها دانه تشکیل نشده که علت آن به احتمال زیاد مربوط به مصادف شدن زمان گل‌دهی با اوج گرما می‌باشد. این موضوع در شهرستان کرمانشاه نیز قابل مشاهده بود، بطوریکه در این شهرستان در برخی سال‌ها محصول بسیار کمی تولید شد و در بسیاری از سال‌ها نیز دانه‌ای تشکیل نشد (در ۷۸/۱ درصد از سال‌ها دانه تشکیل نشد). در این شهرستان در RCP8.5 عملکرد دانه در ۳۰ سال، صفر بود یعنی هیچگونه عملکردی تشکیل نشد (شکل ۳). از دلایل دیگری که باعث کاهش عملکرد دانه در این منطقه شد، می‌توان به میانگین دمای بالا در طول فصل رشد (۲۷ درجه سانتی‌گراد)، طول فصل رشد کوتاه‌تر (۱۳۶ روز) و تابش تجمعی کمتر (۱۷۵۷ مگاژول) اشاره کرد.

در ذرت گل‌دهی از حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه به دماهای بالا است که باعث کاهش طول این دوره می‌شود (Khabba *et al.*, 2001)، بنابراین در صورت وقوع دمای بالا، به دلیل کوتاه شدن طول دوره گل‌دهی و طول فصل رشد ذرت، ممکن است عملکرد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

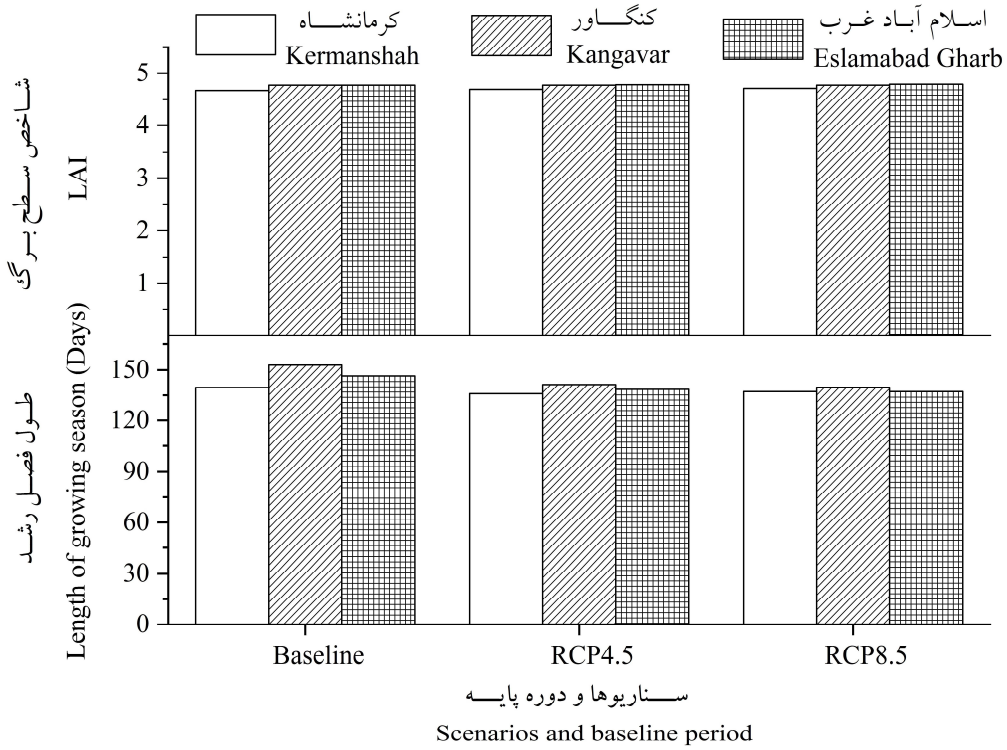
جدول ۲- میانگین دما در طول فصل رشد ذرت، تابش و بارندگی تجمعی در دوره پایه و شرایط تغییر اقلیم آینده در سه منطقه استان کرمانشاه

Table 2. Mean temperature during maize growing season, cumulative radiation and cumulative rainfall under future and baseline periods in experimental regions in Kermanshah province

منطقه Region	سناریوها و دوره پایه Scenarios and baseline period	میانگین دما در طول فصل رشد Mean temperature during growing season (˚C)	تابش تجمعی Cumulative radiation (MJ m^{-2})	بارندگی تجمعی Cumulative rainfall (mm)
اسلام‌آبادغرب Eslamabad Gharb	Baseline	22.5	1834	18.8
	RCP4.5	25.2	1819	14.8
	RCP8.5	26.2	1837	18.9
کرمانشاه Kermanshah	Baseline	24.3	1719	16.7
	RCP4.5	27	1757	16.6
	RCP8.5	27.8	1801	16.3
کنگاور Kangavar	Baseline	21.5	1874	18.8
	RCP4.5	24.5	1827	14
	RCP8.5	25.5	1837	17

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]



شکل ۴- حداکثر شاخص سطح برگ و طول فصل رشد ذرت تحت سناریوهای آینده و دوره پایه در مناطق مورد مطالعه استان کرمانشاه

Fig. 4. Maximum leaf area index (LAI) and length of growing season of maize under future and baseline periods in study locations at Kermanshah

دانه ذرت کاهش یابد (Trnka *et al.*, 2004). در همین ارتباط مرا و همکاران (Mera *et al.*, 2006) گزارش کردند که افزایش دما بیشترین اثر منفی را بر گل‌دهی ذرت داشته و با کاهش درصد و دوره تلقیح گل‌ها، عملکرد دانه کاهش می‌یابد. نتایج آن‌ها نشان داد که دو درجه سانتی‌گراد افزایش دما باعث کاهش طول دوره گل‌دهی ذرت از ۱۰ به ۸ روز شد. در یک آزمایش مزا و همکاران (Meza *et al.*, 2008) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی ذرت گزارش کردند که افزایش دما باعث تسریع مراحل فنولوژیکی گیاه می‌شود. آن‌ها بیان کردند که در محدوده ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش دما باعث افزایش سرعت نمو ذرت شده، اما در دمای بالاتر از ۴۱ درجه سانتی‌گراد، سرعت نمو کاهش یافته و باعث اختلال در رشد گیاه شد. لی و همکاران (Li *et al.*, 2011) در آزمایشی اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد ذرت در چین و آمریکا را مورد ارزیابی قرار داده و بیان کردند که افزایش دما باعث کاهش عملکرد دانه در آمریکا و چین (به ترتیب حدود ۸ و ۲۳ درصد) خواهد شد. در آزمایشی توسط رحیمی‌مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018) در استان خوزستان، راهکارهای سازگاری (شامل انتخاب ارقام و مدیریت زمان کاشت) برای ذرت در شرایط تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در آینده (سال ۲۰۵۰) به طور میانگین در دو سناریو (RCP4.5 و RCP8.5) عملکرد ذرت ۱۸/۵ درصد کاهش می‌یابد. بر این اساس تغییر زمان کاشت به صورت کاشت زودهنگام و استفاده از ارقام زودرس در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

کشت زمستانه و کاشت دیرهنگام و استفاده از ارقام دیررس برای کشت تابستانه، گزینه‌های مناسبی برای کاهش آثار منفی تغییر اقلیم به نظر می‌رسند.

افزایش دما در سناریوی RCP8.5 در مناطق مورد بررسی نمود بیشتری داشت و باعث افت شدید عملکرد در دوره مورد مطالعه شد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل APSIM نشان داد که در هر سه منطقه، بیشترین عملکرد دانه ذرت مربوط به شهرستان کنگاور (۱۴۳۹۹ کیلوگرم در هکتار) بود. در مقایسه، به نظر می‌رسد که علت بالاتر بودن عملکرد در این شهرستان، پایین‌تر بودن میانگین دما در طول فصل رشد (۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد)، طول فصل رشد بیشتر (۱۳۹/۷ روز) و تابش تجمعی مناسب (۱۳۸۳۷ مگاژول) بود. در این منطقه در مقایسه با دوره پایه، افت شدید عملکرد مشاهده شد که دلیل اصلی آن به احتمال زیاد مربوط به انطباق زمان گل‌دهی با اوج گرمای هوا بود. به همین علت در دوره مورد بررسی در ۵۹/۳ درصد از سال‌ها دانه تشکیل نشد و در سال‌هایی که محصولی تولید شد، مقدار آن کم بود. مهم‌ترین نتیجه در این تحقیق در شهرستان کرمانشاه بدست آمد به‌طوری‌که در سناریوی RCP8.5 هیچ دانه‌ای تشکیل نشد و دلیل این موضوع افزایش دما در آینده و مصادف شدن احتمالی دوره گل‌دهی با زمان اوج گرما باشد.

به‌طورکلی، افزایش دما تا حد بهینه با افزایش سرعت رشد گیاه همراه بوده و درصدت فراتر رفتن دما از حد آستانه گیاه، رشد گیاه کاهش یافته و عملکرد به احتمال زیاد به علت کوتاه شدن مراحل فنولوژیک گیاه، افزایش سرعت تنفس شبانه، کاهش جذب مواد غذایی، افزایش ناباروری سنبلچه‌ها، تشکیل دانه‌های کمتر و کاهش ظرفیت مخزن در هنگام پر شدن دانه، کاهش خواهد یافت (Wahid *et al.,* 2007). وقوع دماهای حدی در فواصل زمانی کوتاه در مراحل بحرانی رشد گیاه مانند گل‌دهی می‌تواند باعث افزایش احتمال ناباروری و کاهش عملکرد گیاه شود که این افت عملکرد، مستقل از هرگونه تغییرات قابل توجه دیگر، ناشی از افزایش میانگین دما می‌باشد (McKeown *et al.,* 2005). سازوکار اثرگذاری دماهای حدی و روزهای بسیار گرم بر عملکرد گیاهان زراعی از طریق تأثیر مستقیم تنش حرارتی در مرحله زایشی و پر شدن دانه است که باعث تسریع فرآیند پیر شدن گیاه می‌شود و از سه بعد حائز اهمیت است؛ بعد اول کاهش دوام دانه گرده است که باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. بعد دوم وقوع روزهای بسیار گرم در مرحله گرده‌افشانی است که باعث کاهش دانه‌بندی در گیاه می‌شود و سومین بعد آن نیز کاهش طول دوره پر شدن دانه است که باعث کوچک شدن اندازه دانه‌های تشکیل شده می‌شود (Wollenweber *et al.,* 2007).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان دادکه به‌طور میانگین در هر سه منطقه مورد بررسی، میانگین دما در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۱ و ۲۳ درصد افزایش داشت. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل APSIM نشان داد که با افزایش میانگین دما در طول فصل رشد در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 (به ترتیب ۱۲ و ۱۶ درصد) و کاهش طول فصل رشد (به ترتیب ۵ و ۶ درصد)، عملکرد دانه ذرت ۶۹ و ۹۰ درصد کاهش یافت. دلیل اصلی این افت شدید عملکرد نیز همزمان شدن دوره گلدهی ذرت با اوج گرما در طول فصل رشد بود که باعث شد در شرایط تغییر اقلیم، عملکرد دانه در برخی از سال‌ها تشکیل نشود. یکی از راهکارهای پیشنهادی، تغییر زمان کاشت ذرت و کاشت زودهنگام این گیاه در مناطق مذکور است تا از مصادف شدن دوره حیاتی گل‌دهی با اوج گرما در آینده جلوگیری شود. با توجه به نتایج این تحقیق و همچنین اهمیت تولید و سطح زیر کشت وسیع ذرت در استان کرمانشاه و سایر مناطق با آب‌وهوای مشابه این استان، پیشنهاد می‌شود در زمینه تغییر اقلیم با هدف ارائه

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

راه‌حل‌هایی برای جلوگیری از افت عملکرد این محصول مهم تحقیقات بیشتری انجام شود.

منابع مورد استفاده References

AgMIP. 2013. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with Rin Windows [Online]. Available at: http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIP-Climate-Scenario-Generation-with-R-v2.3.pdf

Anonymous, 2014. Agricultural Statistics. Department of Planning and Economy. Information and Communication Center. Ministry of Agriculture Jihad, Iran. (In Persian).

Araya, A., G. Hoogenboom, E. Luedeling, K.M. Hadgu, I. Kisekka and L.G. Martorano. 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. Agric. For. Meteorol. 214: 252- 265.

Chenu, K., J. R. Porter, P. Martre, B. Basso, S. C. Chapman, F. Ewert, M. Bindi and S. Asseng. 2017. Contribution of crop models to adaptation in wheat. Trends Plant Sci. 22(6): 472-490.

Eyshi Rezaie, E. and M. Bannayan, 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. Meteorol. Appl. 19: 346– 354.

FAO. 2014. United Nations Food and Agricultural Organization. Agricultural Data available on worldwid. http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.

Gohari, A., S. Eslamian, J. Abedi- Koupaei, A. Massah Bavani, D. Wang and K. Madani. 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. Sci. Total Environ. 442: 405-419.

Hoogenboom, G., J. W. Jones, C. H. Porter, P. W. Wilkens, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt and G. Y. Tsuji. 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.

IPCC. 2013a. Climate Change 2013: The Physical Science Basis [M/OL]. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC. 2013b. Summary for Policymakers. *In:* Climate Change (2013): Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley, (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

Keating, B. A., P. S. Carberry, G. L. Hammer, M. E. Probert, M. J. Robertson, D. Holzworth, N. I. Huth, J. N. G. Hargreaves, H. Meinke, Z. Hochman, G. McLean, K. Verburg, V. Snow, J. P. Dimes, M. Silburn, E. Wang, S. Brown, K. L. Bristow, S. Asseng, S. Chapman, R. L. McCown, D. M. Freebairn and C. J. Smith. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. Eur. J. Agron. 18: 267– 288.

Khabba, S., J F. Ledent and A. Lahrouni. 2001. Maize ear temperature. Eur. J. Agron. 14: 197– 208.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

Li, X., T. Takahashi, N. Suzuki and H. M. Kaiser. 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. Agric. Sys. 104: 348–353.

Luo, X., J. Xia and H. Yang. 2015. Modeling water requirements of major crops and their responses to climate change in the North China Plain. Environ. *EARTH.* Sci. 74: 3531-3541.

McKeown, A., J. Warland and M. R. McDonald. 2005. Long-term marketable yields of horticultural crops in southern Ontario in relation to seasonal climate. Can. J. Plant Sci. 85: 431–438.

Mera, R. J., D. Niyogi, G. S. Buol, G. G. Wilkerson and F. H. M. Semazzi. 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C_3) and maize (C_4) crops: An agrotechnology model based study. Glob. Planet. Change. 54: 163–182.

Meza, F. J., D. Silva and H. Vigil. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. Agric. Sys. 98: 21–30

Moradi, R., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and H. Mansouri, 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. Mitig. Adapt. Strat. GL. 18: 265-284.

Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and T. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature. 463: 747–756

Prescott, J. A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. R. Soc. S. Aust. 64: 114-118.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Rahimi-Moghaddam, S., J. Kambouzia and R. Deihimfard. 2017. Estimation of parameters for some dominant maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for using in APSIM mechanistic model. Electronic J. Crop Prod. 10(1): 129-147. (In Persian with English abstract).

Rahimi-Moghaddam, S., J. Kambouzia and R. Deihimfard. 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. Agric. For. Meteorol. 253: 1-14.

Ruane, A. C., L. D. Cecil and R. M. Horton. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: farm information, climate projections, and yield sensitivities. Agric. For. Meteorol. 170: 132–145.

Seifert, E. 2014. OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. J. Chem. Info. Model. 54: 1552–1552.

Trnka, M., M. Dubrovsky and Z. Ekzalud. 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. Clim. Change. 64: 227–255.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf and M. R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Environ. Exp. Bot. 61: 199–223.

Wayne, G. P. 2013. The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. Skeptical Sci., URL: http://www.skepticalscience.com/docs/RCP Guide.

Wollenweber, B., J. R. Porter and J. Schellberg. 2003. Lack of interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. J. Agron. Crop. Sci. 189: 142–150.

You, L., M. W. Rosegrant, S. Wood and D. Sun. 2009. Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. Agric. For. Meteorol. 149: 1009–1014.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]

Simulating climate change effect on maize (*Zea mays* L.) grain yield in Kermanshah province using a process-based simulation model

Rahimi-Moghaddam, S.[1], H. Eyni Nargeseh[2], R. Deihimfard[3] and M. Haghighat[4]

ABSTRACT

Rahimi-Moghaddam, S., H. Eyni Nargeseh, R. Deihimfard and M. Haghighat. 2019. Simulating climate change effect on maize (*Zea mays* L.) grain yield in Kermanshah province using a process-based simulation model. **Iranian Journal of Crop Sciences. 20(4): 315-328. (In Persian).**

Rising temperature as consequences of climate change could affect on the various processes such as photosynthesis, respiration, partitioning of assimilates and ultimately grain yield of agricultural crops. The present experiment was conducted to simulate the impacts of climate change on maize grain yield under two future climate change scenarios (RCP4.5 and RCP8.5) using APSIM model in three counties of Kermanshah province (Kermanshah, Kangavar and Eslamabad Gharb). Future climate data were projected by using long-term climatic data for the baseline period of 1980-2010 and AgMIP methodology for the mid-future (2040-2070). The results showed that, on average, the mean temperature increased up to 11 and 23 percent under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios when compared to the baseline, respectively. The maximum and minimum grain yields in the baseline were obtained in Kangavar (14399 kg.ha^{-1}) and Kermanshah (7741 kg.ha^{-1}), respectively. Simulation results also showed that average temperature during growing season rised (0.5 and 2 ˚C under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) and length of growing season decreased (5 and 6 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively) which resulted in a reduction in maize grain yield from 69 to 90 percent under RCP4.5 and RCP8.5, respectively. Results illustrated that under climate change conditions, flowering of maize may coincide with high temperatures and this may reduce maize grain yield, therefore, it can be suggested that changing the sowing dates in the target regions prevents the coincidence of the critical flowering stage with heat stress.

Key words: AgMIP, Climate change scenario, Crop model, Maize, Rising temperature and Simulation.

Received: June, 2018 **Accepted: January, 2019**

1. Former Ph.D. Student, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Ph.D. Student, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Assistant Prof., Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
(Corresponding author) (Email: deihim@sbu.ac.ir)
4. Researcher, Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1397.20.4.4.3]