

## بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید ذرت دانه ای در شمال شرق ایران

اعظم لشکری<sup>۱</sup> - امین علیزاده<sup>۲\*</sup> - محمد بنایان اول<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۹

### چکیده

توسعه و ارزیابی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم به منظور مدیریت اثرات آن ضروری می باشد. هدف از این مطالعه کم کردن پاسخ عملکرد ذرت دانه ای به آثار پتانسیل تغییر پارامترهای اقلیمی و ارزیابی کارایی تغییر تاریخ کاشت ذرت به عنوان یکی از گزینه های کاهش این تغییر در استان خراسان است. در این تحقیق، دو مدل گردش عمومی (HadCM3 و IPCM4)، سه سناریوی تغییر اقلیم (A1B، A2 و B1) و چهار منطقه در استان خراسان (مشهد، بیرجند، بجنورد و سبزوار) مورد استفاده قرار گرفت. مدل رشد و نمو مورد استفاده مدل CSM-CERES-Maize بود. ریز مقیاس نمایی و تبدیل داده های آماری مورد نیاز طی ۱۰۰ سال آینده با استفاده از مدل LARS-WG انجام شد. نتایج نشان داد که در تمام نقاط مورد مطالعه، طی ۱۰۰ سال آینده عملکرد ذرت نسبت به دوره پایه به میزان ۱ تا ۳۹ درصد کاهش خواهد یافت. اگرچه از شمال به جنوب استان روند خاصی مشاهده نشد، با این وجود بیشترین عملکرد شبیه سازی شده ذرت تحت سناریوی A1B (۱۲۲۳۴ کیلوگرم در هکتار)، سناریوی A2 (۱۲۶۶۲ کیلوگرم در هکتار) و سناریوی B1 (۱۲۶۵۳ کیلوگرم در هکتار) در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد برای بجنورد به دست آمد. کمترین عملکرد شبیه سازی شده ذرت تحت سناریوی A1B (۳۳۲۰ کیلوگرم در هکتار)، سناریوی A2 (۲۳۷۰ کیلوگرم در هکتار) و سناریوی B1 (۲۵۸۲ کیلوگرم در هکتار) در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و برای سبزوار به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد که تغییر تاریخ کاشت ذرت از اردیبهشت به خرداد برای تمام نقاط به استثنای سبزوار می تواند گزینه مناسبی برای کاهش آثار تغییر اقلیم باشد.

**واژه های کلیدی:** سناریوهای تغییر اقلیم، شبیه سازی رشد گیاه زراعی، عملکرد ذرت، مدل گردش عمومی

### مقدمه

های مدل‌های مولد آب و هوا انجام شده است (۶). این مطالعات به افزایش درک ما از پاسخ گیاهان به شرایط آب و هوا، خاک و اثرات متقابل آنها با سناریوهای مختلف مدیریت گیاهان زراعی کمک می کند. تائو و ژانگ (۳۶) نشان دادند طی دهه ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ عملکرد ذرت ۱۹-۱۳/۲ درصد کاهش خواهد یافت. مزا و همکاران (۲۷) گزارش کردند که عملکرد ذرت می تواند تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گیرد. عملکرد ذرت بسته به سناریوهای مختلف و نوع واریته، ۳۰-۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. تغییر اقلیم همچنین می تواند بر سرعت نمو و دوره رشد گیاهان تأثیر داشته باشد. آبراه و ساواج (۳) از مدل ClimGen برای تولید داده های آب و هوا و از مدل CropSyst به عنوان مدل رشد و نمو استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که تحت رژیم های مختلف افزایش غلظت CO<sub>2</sub>، ۴-۲ درجه سانتیگراد افزایش دما و ۲۰-۱۰ درصد کاهش بارندگی، عملکرد ذرت بیشتر تحت تأثیر افزایش دما قرار خواهد گرفت تا کاهش بارندگی. الکساندروف و هوگنبوم (۴) نشان دادند که تحت غلظت کنونی CO<sub>2</sub>، افزایش دما و کاهش بارندگی، عملکرد گندم پاییزه و ذرت به دلیل کوتاه شدن فصل رشد کاهش خواهد یافت. نتایج

طبق آخرین گزارش هیأت بین الدول تغییر اقلیم (IPCC<sup>۴</sup>) افزایش غلظت گازهای گلخانه ای باعث افزایش دمای کره زمین از اواسط نیمه قرن حاضر شده است (۲۰). گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ناشی از فرایندهای طبیعی و نیز فاکتورهای انسانی مهمترین و اصلی ترین مسائلی هستند که دنیای امروز با آن مواجه است (۴). از نقطه نظر فیزیولوژی گیاهان زراعی، هر تغییر محیطی می تواند بر فرایندهای رشد و نمو گیاه و در نهایت بر تولید و عملکرد گیاه زراعی مؤثر باشد (۲۷). در دهه های اخیر مطالعات زیادی در مورد اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی و تولید گیاهان زراعی انجام شده است. بسیاری از این مطالعات با استفاده از مدل های شبیه سازی گیاهان زراعی و داده

۱- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- نویسنده مسئول: (Email: alizadeh@gmail.com)

**مدل رشد و نمو:** ارزیابی آثار پتانسیل تغییر اقلیم بر تولید ذرت با استفاده از مدل CSM-CERES-Maize از مجموعه مدل های کمک به تصمیم گیری در انتقال فناوری در سیستم های کشاورزی نسخه ۴/۵ انجام شد. CSM-CERES-Maize مدلی مکانیستی و پویا است که قادر است فرایندهای رشد و نمو ذرت را شبیه سازی کند (۱۲ و ۴۲). این مدل قادر است تأثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و گزینه های مدیریتی مزرعه را بر رشد و نمو ذرت مورد ارزیابی قرار دهد. رشد پتانسیل تابعی از تشعشع فعال فتوسنتزی، میزان نور جذب شده، فاصله ردیف ها، تراکم و کارایی تبدیل نور جذب شده به ماده خشک است. در این مدل، معادلات تجربی برای فرایندهای نمو فنولوژیک، گسترش کانوپی، تشکیل اندام ها، فتوسنتز، تخصیص مواد فتوسنتزی و میزان آب خاک به کار گرفته شده است. بدین ترتیب مدل قادر است اثرات آب و هوا را بر رطوبت و نیتروژن خاک و رشد و عملکرد شبیه سازی کند (۶). از زمانی که این مدل معرفی شده است (۲۱) به طور گسترده در محیط های مختلف برای ارزیابی پیامدهای عملیات مدیریتی مختلف و خصوصیات ارقام متفاوت بر تولید زیست توده و عملکرد دانه استفاده شده است (۲۴). به منظور شبیه سازی عملکرد پتانسیل چنین فرض می شود که گیاه در شرایط مطلوب رشد و عاری از هر گونه آفت، بیماری و علف های هرز است. تاریخ کاشت مناسب برای هر منطقه بر اساس تاریخ کاشت رایج ذرت در هر منطقه انتخاب شد.

**داده های آب و هوا:** داده های آب و هوایی دراز مدت روزانه شامل حداکثر و حداقل دما، بارندگی و تشعشع خورشیدی (محاسبه شده با استفاده از ساعات آفتابی) برای هر منطقه برای سال های ۸۵-۱۳۶۵ از ایستگاه هوا و اقلیم شناسی مناطق مورد مطالعه جمع آوری شد.

**تعیین اعتبار مدل:** تعیین اعتبار مدل با استفاده از داده های آزمایشی دو ساله که در سالهای ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده بود صورت گرفت.

مشابهی توسط محققین دیگر گزارش شده است (۱۷، ۲۳، ۲۶، ۳۲، ۴۰ و ۴۱).

ایران کشوری با اقلیم مدیترانه ای، تابستان های گرم و زمستان های سرد است (۸). آب و هوای نیمه خشک ایران نسبت به تغییرات آینده اقلیمی بسیار آسیب پذیر است (۳۰).

ذرت بعد از گندم و برنج سومین غله مهم دنیا، با تولید ۸۲۲ میلیون تن و سطح زیر کشت ۱۶۰ میلیون هکتار در سال ۲۰۰۸، است (۴۰). بر اساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی (۱۵)، سطح ذرت دانه ای کشور در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ حدود ۲۲۶۰۰۰ هکتار، با تولید ۱/۶۴ میلیون تن برآورد شده است که ۹۹/۶ درصد آن به صورت آبی کشت شده است.

کاهش آثار تغییر اقلیم و سازگاری با آن دو راهکار متفاوت جهت کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم است. این دو راهکار می توانند تکمیل کننده یکدیگر باشند (۱۹). همچنین بین این دو راهکار رابطه هم افزایی وجود دارد (۳۴ و ۳۷). ترانکا و همکاران (۳۸)، نیگل سو و مندلسون (۳۱)، گیسنس و رامسدن (۱۶)، مزا و سیلوا (۲۸)، لو و همکاران (۲۵)، بایش و همکاران (۱۱) بیان کردند که اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی می تواند با استفاده از تغییر تاریخ کاشت، تغییر الگوی کشت، به کارگیری ارقام پر تولید و مقاوم و ترویج گیاهان جدید (گیاهان فراموش شده و کمتر استفاده شده) کاهش یابد. بنابراین منطقی به نظر می رسد که استفاده از دانش بومی می تواند مناسب ترین ابزار برای انتخاب گزینه مطلوب در هر منطقه باشد.

هدف از این تحقیق بررسی پاسخ ذرت دانه ای به شرایط تغییر پارامترهای اقلیمی و ارزیابی کارایی تغییر تاریخ کاشت ذرت در شمال شرق ایران به عنوان یکی از گزینه های سازگاری با این شرایط می باشد.

## مواد و روش ها

**موقعیت منطقه مورد مطالعه:** چهار ایستگاه مشهد، بیرجند، بجنورد و سبزوار در استان خراسان مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات جغرافیایی این مناطق در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی مناطق مورد مطالعه (میانگین سال های ۸۵-۱۳۶۵)

موقعیت	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر دما (°C)	بارندگی (mm)
بیرجند	۳۲°۵۲'	۵۹°۱۲'	۱۴۹۱	۸/۲	۲۴/۳	۱۶۵/۴
بجنورد	۳۷°۲۷'	۵۷°۱۸'	۱۲۱۰	۶/۹	۱۹/۶	۲۶۵
مشهد	۳۶°۱۶'	۵۶°۳۶'	۹۹۹	۸/۳	۲۱/۶	۲۵۶
سبزوار	۳۶°۱۳'	۵۷°۳۷'	۹۴۰	۱۱/۸	۲۴/۷	۱۹۷/۸

که P و O: داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده  
 $\bar{O}$ : میانگین داده های مشاهده شده  
 n: تعداد مشاهدات

RMSE میزان خطای مدل را در شبیه سازی داده ها با استفاده از وزن دهی بالا به خطاها نشان می دهد، در حالی که RMD به تمام خطاها وزن یکسانی می دهد. مقادیر RMD نزدیک به صفر نشان دهنده عدم خطا در مدل است. EF کارایی مدل سازی را نشان می دهد و می تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت نشان دهنده واریانس کمتر در نتایج شبیه سازی نسبت به مشاهدات است و مقادیر منفی بالعکس (۶).

مدل اقلیمی و سناریوهای تغییر اقلیم: دو مدل گردش عمومی (HadCM3 و IPCM4) و سه سناریو (A1B، A2 و B1) در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. تولید داده های روزانه حداکثر و حداقل دما، بارندگی و تابش با استفاده از مدل LARS-WG انجام شد. مدل LARS-WG یکی از معروفترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش و دماهای پیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به کار می رود. در این مطالعه از نتایج واسنجی و تعیین اعتبار مدل که قبلاً توسط بنایان و عیشی رضایی (۹) انجام شده بود، استفاده شد. سپس داده های آب و هوایی در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 و نیز تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 برای سه دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ محاسبه شد.

### نتایج

**تعیین اعتبار مدل رشد و نمو:** ارزیابی صحیح عملکرد و شاخص سطح برگ گیاه برای تعیین اعتبار موفق مدل های رشد و نمو در یک مکان خاص ضروری است. در این مطالعه از سه فاکتور عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و حداکثر شاخص سطح برگ در هفت تراکم مختلف برای تعیین اعتبار مدل استفاده شد. مدل حداکثر شاخص سطح برگ را با  $\pm 12$  درصد مقادیر مشاهده شده، شبیه سازی کرد (RMSE=۱۲/۷۹) و همبستگی زیاد ( $R^2=0/94$ ) بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده برای این پارامتر بدست آمد (جدول ۳). مدل عملکرد دانه را با  $\pm 8$  درصد نسبت به عملکرد دانه مشاهده شده شبیه سازی کرد (RMSE=۸/۹۲). به طور مشابه، تجزیه و تحلیل شبیه سازی نشان داد که جذر میانگین مربعات خطای عملکرد بیولوژیک شبیه سازی شده به طور معنی داری کم بود (۶/۹۵) (RMSE=۰/۹۲). جذر میانگین انحرافات (-۰/۲۲) و کارایی مدل سازی (-۰/۹۲) عملکرد دانه شبیه سازی شده کوچک بود. همچنین مقادیر

در این آزمایش دو ساله، سه واریته ذرت با زمان رسیدگی متفاوت در ۷ تراکم مختلف کشت شد. ارقام ذرت شامل دیررس (سینگل کراس ۷۰۴)، متوسط رس (۵۰۴) و زودرس (۲۶۰) و تراکم های مختلف شامل ۳، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ بوته در متر مربع بود. تنک کردن گیاهان برای رسیدن به تراکم مورد نظر در پنج مرحله متفاوت رشد رویشی  $V_5, V_7, V_t, R_3$  و  $R_5$  انجام شد (۲). حداکثر شاخص سطح برگ، زمان گلدهی، زمان رسیدگی، عملکرد دانه و بیومس نهایی برای محاسبه ضرایب ژنتیکی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی محاسبه شده ذرت رقم سینگل کراس

۷۰۴ بدست آمده در آزمایش واسنجی مدل					
PHINT	$G_3$	$G_7$	$P_5$	$P_7$	$P_1$
۳۰	۱۷	۷۰۰	۶۰۰	-۰/۱	۲۵۰

$P_1$ : زمان حرارتی از ظهور گیاهچه تا شروع آغاز برگ،  $P_2$ : بازه ای که نمو به تأخیر می افتد برای هر ساعت افزایش در فتوپریود،  $P_5$ : زمان حرارتی از ظهور تاسل تا رسیدگی فیزیولوژیک،  $G_3$ : حداکثر تعداد دانه برای هر گیاه،  $G_7$ : سرعت پر شدن دانه در طول مرحله خطی پر شدن دانه در شرایط مطلوب، PHINT: فاصله فیلوکرونی شاخص های متفاوتی برای ارزیابی تفاوت داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده مورد استفاده قرار گرفت. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE<sup>1</sup>) اختلاف نسبی بین مشاهدات و داده های شبیه سازی شده را نشان می دهد. شاخص جذر میانگین انحرافات (RMD<sup>2</sup>) برای ارزیابی خطای سیستماتیک مدل محاسبه شد. کارایی مدل سازی (EF<sup>3</sup>) برای ارزیابی نمود مدل در ارتباط با میانگین داده های مشاهده شده محاسبه شد (۱۸). همچنین رگرسیون خطی بین داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \frac{100}{\sigma} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMD = \frac{100}{\sigma} \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{n} \quad (2)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

- 1- Root Mean Squared Error
- 2 - Root Mean Deviation
- 3 - Model Efficiency

می کنند. کاشت ذرت در کشور در سه زمان انجام می شود: کشت بهاره، در اوایل فروردین تا خرداد؛ کشت تابستانه، از خرداد تا اواخر مرداد و کشت زمستانه، از اوایل بهمن تا اوایل اسفند. از طرفی دمای مناسب برای جوانه زدن بذر ذرت در حدود ۱۸-۱۰ درجه سانتیگراد می باشد. به همین دلیل در اکثر مناطق طول دوره عاری از یخبندان تعیین کننده تاریخ کاشت می باشد. به طور کلی در هر منطقه برای تعیین تاریخ کاشت بایستی به نکات زیر توجه کرد: خطر یخبندان از بین رفته باشد، دما و رطوبت مناسب برای جوانه زنی بذر مهیا باشد، در طول دوره رشد دمای محیط برای رشد گیاه مناسب باشد و خصوصاً در مرحله گلدهی بوته ها تحت تنش های حرارتی (دمای بالا) و رطوبتی (خشکی) واقع نشوند و در نهایت در انتهای فصل رشد دماهای کم و یخبندان حادث نشود (۱). علاوه بدلیل تغییر اقلیم و نیز تغییرات در فاکتورهای فنی و اجتماعی- اقتصادی، طی زمان تاریخ کاشت می تواند تغییر کند (۲۲). بنابراین در اکثر نقاط مورد مطالعه در این تحقیق تاریخ کاشت در یک بازه زمانی با از بین رفتن خطر یخبندان بهاره از اوایل اردیبهشت شروع می شود و تا اواسط خرداد ادامه دارد. با توجه به مطالب ذکر شده ۷ تاریخ کاشت به فواصل ۱۵ روز (اول فروردین، ۱۵ فروردین، ۳۰ فروردین، ۱۵ اردیبهشت، ۳۰ اردیبهشت، ۱۵ خرداد و ۳۰ خرداد) برای مناطق مختلف انتخاب شد و عملکرد پتانسیل دانه ذرت برای شرایط اقلیمی کنونی و آینده با استفاده از دو مدل گردش عمومی و تحت سه سناریوی تغییر اقلیم شبیه سازی شد. نتایج نشان داد حتی با تغییر تاریخ کاشت عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده دانه ذرت در دوره های زمانی مختلف نسبت به دوره پایه برای اکثر نقاط به تدریج کاهش یافت.

برای مشهد با استفاده از مدل HadCM3 بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۱۰۵۷۷ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با یک درصد افزایش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ب). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۰۷۹ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت اول فروردین با ۹ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-الف). در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۹۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۶ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-پ). کمترین عملکرد (۷۶۰۴ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت اول فروردین و با ۱۵ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ب).

جزر میانگین انحرافات و کارایی مدل سازی برای عملکرد بیولوژیک شبیه سازی شده به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۵۹ بود (جدول ۳). بطور کلی تعیین اعتبار مدل نشان داد که مدل قادر است اثرات تغییر اقلیم را بر عملکرد ذرت در مناطق مختلف استان خراسان به خوبی شبیه سازی کند.

جدول ۳- مقایسه عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و حداکثر شاخص سطح برگ شبیه سازی شده و مشاهده شده با استفاده از آماره های ارزیابی

پارامتر	RMSE	RMD	EF	R <sup>2</sup>
عملکرد دانه	۸/۹۲	-۰/۲۲	-۰/۹۲	۰/۸۷
عملکرد بیولوژیک	۶/۹۵	-۰/۶۲	-۰/۵۹	۰/۷۷
حداکثر شاخص سطح برگ	۱۲/۷۹	۱۰/۵۴	۰/۶	۰/۹۴

### نتایج پیش بینی عملکرد پتانسیل در شرایط تغییر

**اقلیم:** عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده ذرت با استفاده از دو مدل گردش عمومی و تحت سناریوهای مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده ذرت در دوره های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه بتدریج کاهش یافت. در بیرجند عملکرد شبیه سازی شده دانه ذرت در مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم برای سه دوره زمانی به طور میانگین ۲۳-۷ درصد و در مدل IPCM4 حدود ۲۸-۲ درصد کاهش یافت. برای بجنورد این مقادیر در مدل HadCM3 به میزان ۲۷-۱۸ درصد و در مدل IPCM4 حدود ۲۳-۱۸ درصد تغییر کرد. عملکرد شبیه سازی شده دانه ذرت برای مشهد در مدل HadCM3 حدود ۲۸-۱۲ درصد و در مدل IPCM4 حدود ۳۲-۶ درصد کاهش یافت. این مقادیر برای سبزوار در هر دو مدل HadCM3 و IPCM4 از ۴+ تا ۲۶- درصد تغییر کرد. با این وجود شدت تغییرات عملکرد شبیه سازی شده طی سه دوره زمانی در مناطق مختلف متفاوت بود.

کاهش عملکرد دانه می تواند ناشی از تسریع مراحل فنولوژیک تحت دماهای بالاتر باشد که با کوتاه شدن دوره رشد گیاه زراعی مرتبط است (۳۵). تحقیقات کونور و همکاران (۱۴) نشان داد که در شرایط آب و هوایی متغیر مدیریت ای انتخاب صحیح تاریخ کاشت می تواند به عنوان یکی از مهمترین گزینه های بهینه سازی عملکرد دانه محسوب شود. بنابراین احتمال می رود تنظیم مناسبترین تاریخ کاشت بتواند در کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد دانه مؤثر باشد.

### راهکار سازگاری: به منظور استفاده از گزینه تنظیم تاریخ

کاشت برای طراحی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در مناطق مختلف لازم است بدانیم کشاورزان در چه زمانی گیاهان خود را کشت

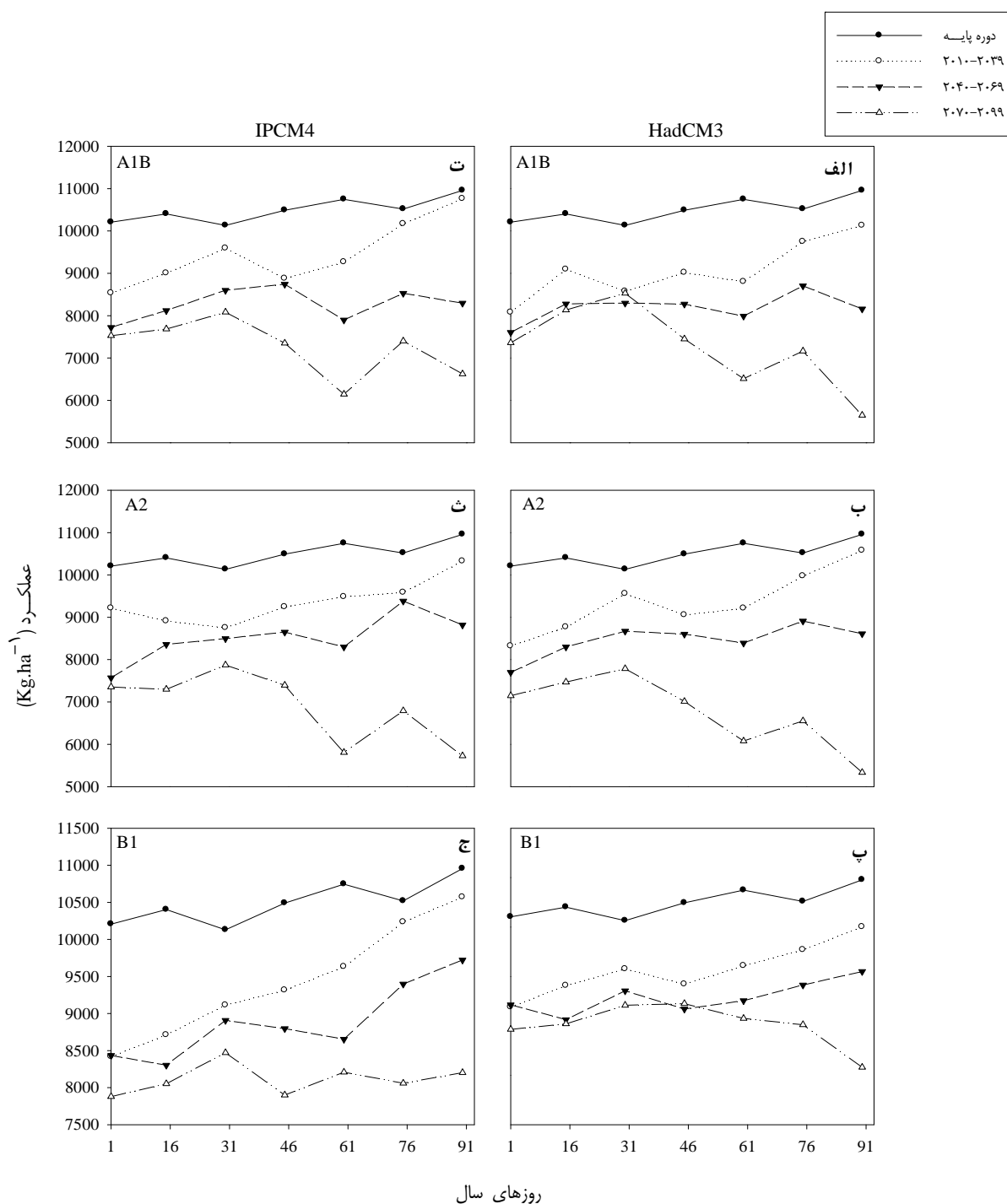
جدول ۴- عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (kg/ha) ذرت در تاریخ کاشت کنونی برای دوره پایه و تغییرات عملکرد پتانسیل با مدل های HadCM3 و IPCM4 تحت سناریوهای A1B، A2، و B1 در سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برای مناطق انتخاب شده در استان خراسان

تغییرات (%)	موقعیت			تغییرات (%)	بجنورد	تغییرات (%)	بیرجند	سناریو	دوره زمانی	GCM
	سبزوار	تغییرات (%)	مشهد							
	۷۲۰۹		۱۰۴۹۰		۱۱۶۸۶		۹۹۱۸		دوره پایه	
-۱	۷۱۴۱	-۸	۹۰۱۸	-۱۸	۹۵۱۸	-۳	۹۵۵۷		۲۰۱۰-۲۰۳۹	
-۱۶	۶۰۴۴	-۲۱	۸۲۷۲	-۲۱	۹۰۸۶	-۱۷	۸۲۰۰	A1B	۲۰۴۰-۲۰۶۹	
-۲۵	۵۳۸۳	-۲۶	۷۴۴۸	-۲۶	۸۴۹۹	-۲۲	۷۷۲۷		۲۰۷۰-۲۰۹۹	
۱	۷۳۱۶	-۲۰	۹۰۵۲	-۱۹	۹۳۳۲	-۱۵	۸۳۴۹		۲۰۱۰-۲۰۳۹	
-۱۴	۶۱۹۷	-۲۹	۸۶۰۱	-۱۹	۹۳۱۶	-۲۵	۷۴۰۴	A2	۲۰۴۰-۲۰۶۹	HadCM3
-۳۴	۴۷۳۵	-۳۳	۷۰۱۳	-۳۶	۷۴۲۶	-۲۹	۷۰۰۴		۲۰۷۰-۲۰۹۹	
۱	۷۳۰۳	-۹	۸۸۴۴	-۱۹	۹۳۱۷	-۴	۹۴۵۴		۲۰۱۰-۲۰۳۹	
-۱۳	۶۲۷۱	-۲۰	۸۳۳۸	-۱۸	۹۴۵۵	-۱۵	۸۳۷۷	B1	۲۰۴۰-۲۰۶۹	
-۱۹	۵۸۱۰	-۲۵	۸۴۴۹	-۲۰	۹۲۷۸	-۲۰	۷۸۴۹		۲۰۷۰-۲۰۹۹	
۵	۷۵۷۴	-۸	۸۸۷۶	-۱۹	۹۳۶۶	-۳	۹۵۹۲		۲۰۱۰-۲۰۳۹	
-۱۷	۵۹۴۳	-۲۴	۸۷۴۱	-۱۹	۹۳۹۱	-۲۰	۷۹۱۲	A1B	۲۰۴۰-۲۰۶۹	
-۳۲	۴۸۹۰	-۳۹	۷۳۵۲	-۲۵	۸۶۳۱	-۳۵	۶۳۵۵		۲۰۷۰-۲۰۹۹	
۳	۷۴۱۶	-۶	۹۲۴۳	-۱۹	۹۳۳۲	-۱	۹۸۶۳		۲۰۱۰-۲۰۳۹	
-۱۴	۶۱۵۵	-۱۹	۸۶۵۰	-۲۰	۹۳۰۵	-۱۴	۸۴۹۳	A2	۲۰۴۰-۲۰۶۹	IPCM4
-۳۰	۵۰۲۱	-۳۹	۷۳۵۲	-۳۱	۸۰۲۷	-۲۷	۷۲۱۶		۲۰۷۰-۲۰۹۹	
۴	۷۴۹۱	-۶	۹۳۱۴	-۱	۹۵۱۱	-۱	۹۷۹۹		۲۰۱۰-۲۰۳۹	
-۱۱	۶۳۸۵	-۱۸	۸۷۹۵	-۱۳	۹۶۱۹	-۱۳	۸۵۵۷	B1	۲۰۴۰-۲۰۶۹	
-۱۸	۵۹۰۰	-۲۷	۷۸۹۹	-۲۲	۹۸۰۳	-۲۲	۷۶۵۱		۲۰۷۰-۲۰۹۹	

سناریوی B1 در تاریخ کاشت اول فروردین با ۷ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ج). در دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ بیشترین عملکرد (۹۷۲۲ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۰/۳ درصد افزایش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ج). کمترین عملکرد (۷۵۷۲ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت اول فروردین و با ۹ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ث). در دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بیشترین عملکرد (۸۴۷۰ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین و با ۲۱ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ج). کمترین عملکرد

در دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بیشترین عملکرد (۸۵۲۹ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین و با ۲۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-الف). کمترین عملکرد (۵۳۳۶ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۳۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ب). زمانی که از مدل IPCM4 استفاده شد بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۱۰۵۶۹ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۶ درصد افزایش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۱-ج). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۴۱۷ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت

(شکل ۱-ث). ۵۷۲۶ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۲۹ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد

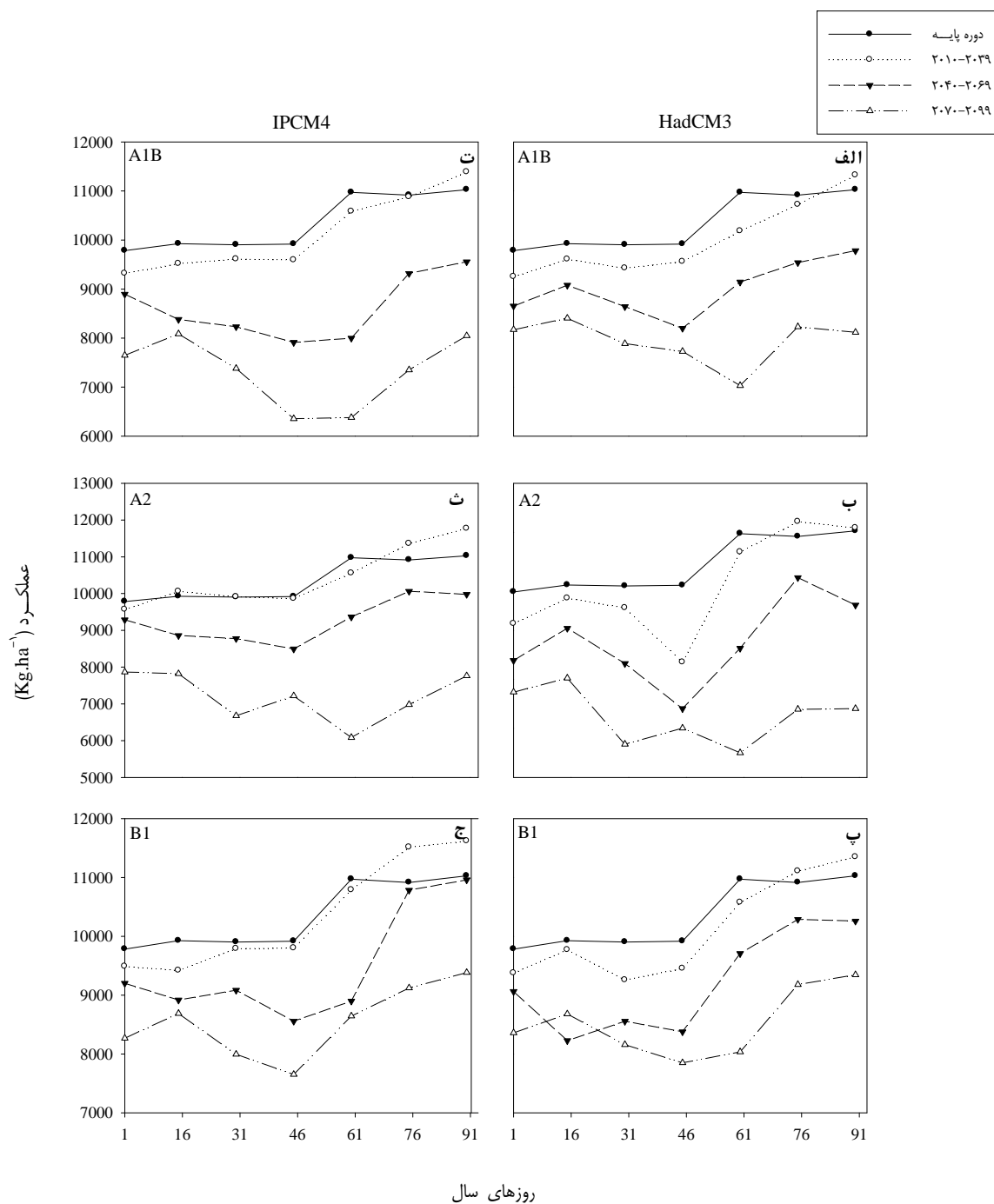


شکل ۱- اثر تاریخ های کاشت مختلف بر عملکرد ذرت با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 طی سه دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در مشهد

پتانسیل شبیه سازی شده (۱۲۶۶۲ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۱۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ب). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۸۷۴ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین با ۱۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-پ). در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۱۱۳۵۸ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۲۳ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-پ). کمترین عملکرد (۸۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین و با ۱۷ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-الف). در دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بیشترین عملکرد (۹۷۶۵ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۳۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-پ). کمترین عملکرد (۶۷۸۱ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و با ۳۹ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ب). زمانی که از مدل IPCM4 استفاده شد بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۱۲۶۵۳ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۱۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ج). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۸۴۴ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت اول فروردین با ۹ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ث). در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۱۱۵۰۲ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۲۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ج). کمترین عملکرد (۸۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین و با ۱۴ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ج). در دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بیشترین عملکرد (۱۰۳۹۳ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۳۰ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ج). کمترین عملکرد (۷۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و با ۳۷ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۳-ث).

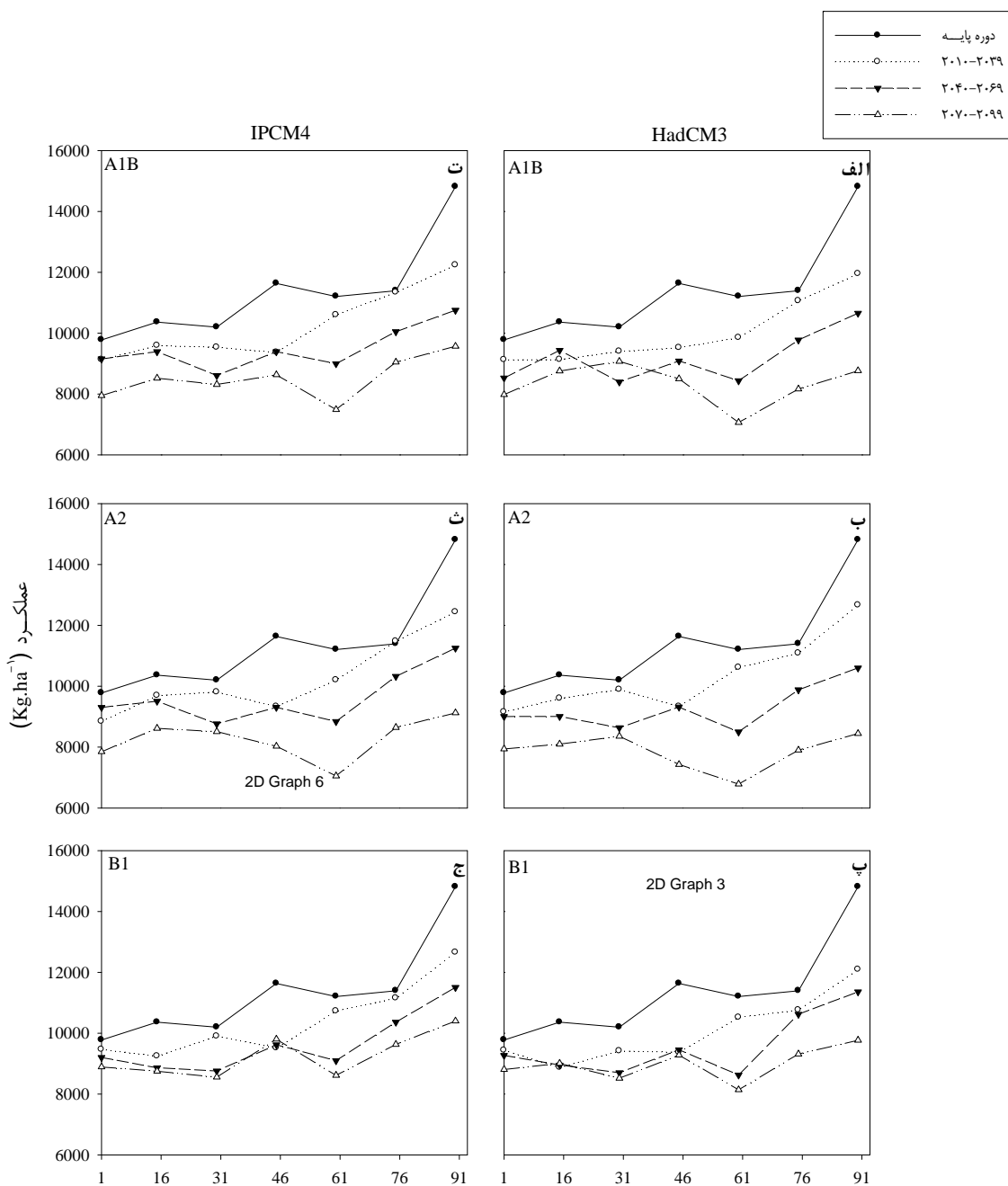
در بیرجند با استفاده از مدل HadCM3 بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۱۱۳۴۹ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۳ درصد افزایش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-پ). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۳۴۹ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت با ۱۵ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ب). در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۱۰۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۷ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-پ). کمترین عملکرد (۷۴۰۴ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت و با ۲۵ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ب). در دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بیشترین عملکرد (۹۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۱۵ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-پ). کمترین عملکرد (۶۵۰۱ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و با ۴۱ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ب). زمانی که از مدل IPCM4 استفاده شد بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۱۱۷۶۸ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۷ درصد افزایش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ث). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۹۳۱۷ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت اول فروردین با ۵ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ت). در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۱۰۹۶۰ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۰/۶ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ج). کمترین عملکرد (۸۲۳۲ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین و با ۱۷ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ت). در دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بیشترین عملکرد (۹۱۲۲ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و با ۱۶ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ج). کمترین عملکرد (۶۰۸۴ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۴۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۲-ث).

در بجنورد با استفاده از مدل HadCM3 بیشترین عملکرد



شکل ۲- اثر تاریخ های کاشت مختلف بر عملکرد ذرت با استفاده از دو مدل گردش عمومی IPCC4 و HadCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2، و B1 طی سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در بیرجند



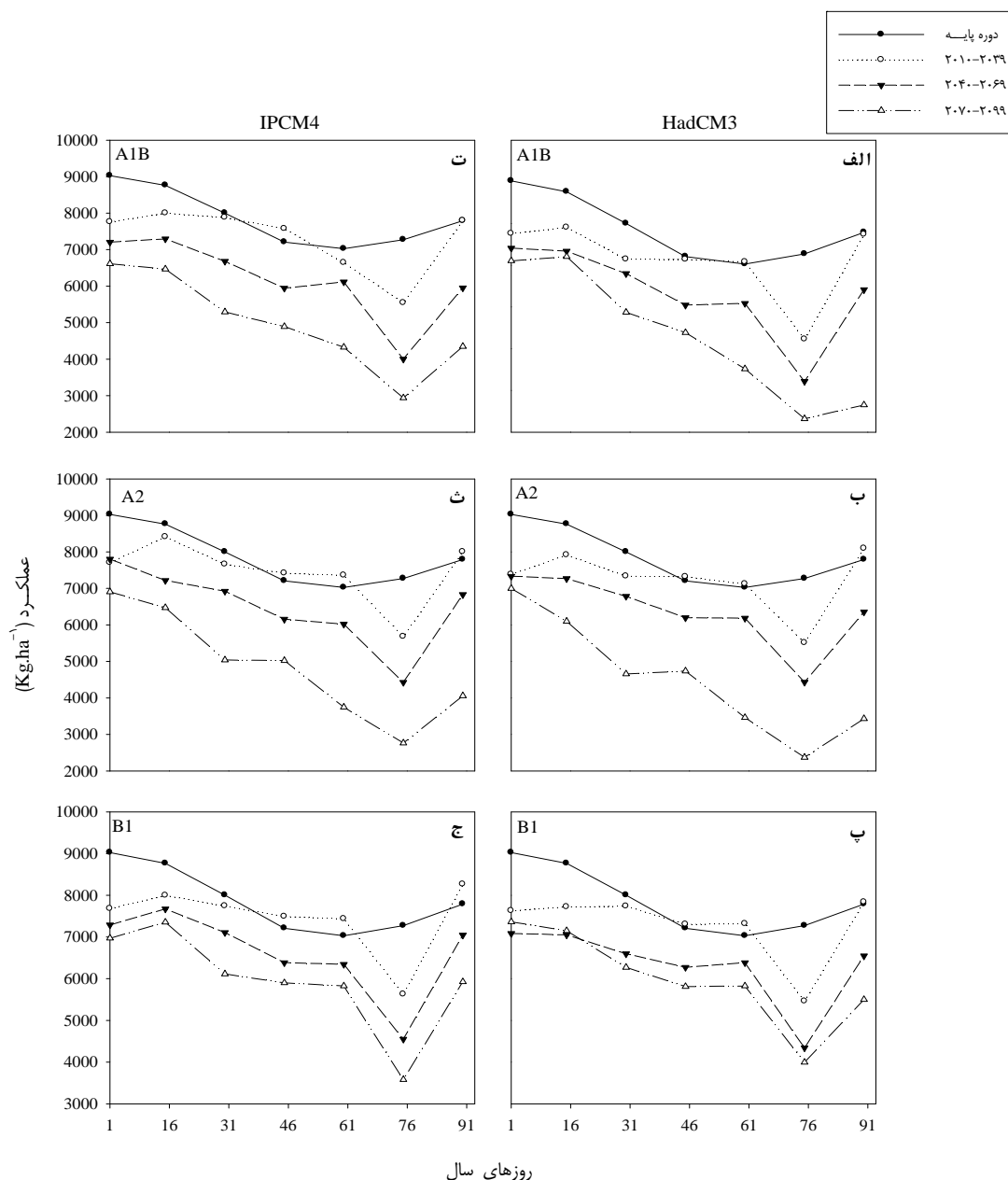


روزهای سال

شکل ۳- اثر تاریخ های کاشت مختلف بر عملکرد ذرت با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCC4 تحت سه سناریوی A1B، A2، B1 طی سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در بجنورد

بدست آمد (شکل ۴-ب). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۵۲۲۷ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد با ۲۸ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-الف).

در سبزار با استفاده از مدل HadCM3 بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۰۹۵ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد و با ۴ درصد افزایش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه



شکل ۴- اثر تاریخ های کاشت مختلف بر عملکرد ذرت با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، A2، و B1 طی سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در سبزوار

مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۴- الف). در دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بیشترین عملکرد (۷۳۶۲ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت اول فروردین و با ۱۸ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۴- پ). کمترین عملکرد (۲۳۷۰ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و

در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۷۴۱۲ کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت اول فروردین و با ۱۸ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۴- الف). کمترین عملکرد (۴۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و با ۴۲ درصد کاهش در

طی ۱۰۰ سال آینده، عملکرد ذرت به تدریج به میزان ۱-۳۹ درصد نسبت به دوره پایه کاهش یافت. حتی با تغییر تاریخ کاشت عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده نسبت به دوره پایه کاهش یافت. بنایان و عیسی رضایی (۹) گزارش کردند که افزایش دما و کاهش بارندگی طی فصل رشد، تحت سناریوهای مختلف در شمال شرق ایران (خراسان) می تواند یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد محصولات دیم و از جمله ذرت در این مناطق باشد. اگرچه از شمال به جنوب خراسان روند خاصی مشاهده نشد، با این وجود بیشترین عملکرد شبیه سازی شده دانه ذرت تحت سناریوی A1B (۱۲۲۳۴) کیلوگرم در هکتار، سناریوی A2 (۱۲۶۶۲) کیلوگرم در هکتار) و سناریوی B1 (۱۲۶۵۳) کیلوگرم در هکتار) در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در تاریخ کاشت ۳۰ خرداد برای بجنورد به دست آمد. کمترین عملکرد شبیه سازی شده دانه ذرت تحت سناریوی A1B (۳۳۲۰) کیلوگرم در هکتار)، سناریوی A2 (۲۳۷۰) کیلوگرم در هکتار) و سناریوی B1 (۳۵۸۲) کیلوگرم در هکتار) در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و برای سبزوار به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد که تغییر تاریخ کاشت ذرت از اردیبهشت به خرداد برای تمام نقاط به استثنای سبزوار می تواند گزینه مناسبی برای کاهش اثرات تغییر اقلیم باشد. برای سبزوار تغییر تاریخ کاشت از اردیبهشت به اوایل فروردین پیشنهاد می شود.

### سپاسگزاری

از حوزه معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد بخاطر حمایت از این تحقیق (کد/۱۴۹۳۰/۲) تشکر و قدردانی می شود.

با ۶۷ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ب). زمانی که از مدل IPCM4 استفاده شد بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۸۴۱۲) کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و با ۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ث). کمترین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده (۵۵۴۰) کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد با ۲۴ درصد کاهش عملکرد نسبت به همان تاریخ کاشت در دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ت). در دوره زمانی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ بیشترین عملکرد (۷۷۹۹) کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت اول فروردین و با ۱۳ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ث). کمترین عملکرد (۴۰۰۲) کیلوگرم در هکتار) در این دوره زمانی تحت سناریوی A1B در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و با ۴۵ درصد کاهش در مقایسه با دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ت). در دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بیشترین عملکرد (۷۳۵۴) کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی B1 در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و با ۱۶ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ج). کمترین عملکرد (۲۷۶۴) کیلوگرم در هکتار) تحت سناریوی A2 در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد و با ۶۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به دوره پایه بدست آمد (شکل ۴-ث).

### نتیجه گیری

در این مطالعه تأثیر تغییر دما و بارندگی بر اساس مدل های گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 بر عملکرد ذرت در استان خراسان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تغییر تاریخ کاشت به عنوان یکی از گزینه های سازگاری با تغییر اقلیم در چهار منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که

### منابع

- ۱- خاوری خراسانی س. ۱۳۸۷. راهنمای علمی و کاربردی کاشت، داشت و برداشت ذرت. انتشارات سروا. تهران.
- ۲- گلدانی م. و رضوانی مقدم پ. ۱۳۸۷. عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات رشدی هیبریدهای مختلف ذرت در پاسخ به تراکم. پایان نامه دکتری زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی.
- 3- Abraha M.G., and Savage M.J. 2009. Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 115: 150-160.
- 4- Alexandrov V.A., and Hoogenboom, G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agriculture and Forest Meteorology*, 140: 315-327.
- 5- Bannayan M., Hoogenboom G., and Crout N.M.J. 2004. Photothermal impact on maize performance: a simulation approach. *Ecological Modelling*, 180: 277-290.
- 6- Bannayan M., and Hoogenboom G. 2008. Weather analogue: A tool for real-time prediction of daily weather data realizations based on a modified k-nearest neighbor approach. *Environmental Modelling and Software*, 3: 703-713.
- 7- Bannayan M., and Hoogenboom G. 2009. Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. *Field Crops Research*, 111: 290-302.
- 8- Bannayan M., Sanjani S., Alizadeh A., Sadeghi Lotfabadi S., and Mohamadian A. 2010. Association between

- climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118: 105-114.
- 9- Bannayan M., and Eyshi Rezaei E. 2011. Regional production of rainfed wheat and climate change in Khorasan. Submitted.
  - 10- Bassu S., Asseng S., Motzo R., and Giunta F. 2009. Optimising sowing date of durum wheat in a variable Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 111: 109-118.
  - 11- Byjesh K., Kumar S.N., and Aggarwal P.K. 2010. Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India. *Mitigation Adaptation Strategies Global Change*, 15: 413-431.
  - 12- Cardoso C.O., and Soccol O.J. 2008. Corn performance with late sowing in planalto Catarinense, Brazil, Simulated with CERES-Maize Model. *Brazilian Archives Biology and Technology*, 51(4): 655-664.
  - 13- Challinor A.J., Ewert F., Arnold S., Simelton E., and Fraser E. 2009. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 60(10): 2775-2789.
  - 14- Connor D.J., Theiveyanathan S., and Rimmington G.M. 1992. Development, growth, water-use and yield of spring and a winter wheat in response to time of sowing. *Australian Journal of Experiment Agriculture*, 43: 493-516.
  - 15- FAO statistics. 2008. <http://faostat.fao.org>. 12 August 2010.
  - 16- Gibbons J.M., and Ramsden S.J. 2008. Integrated modelling of farm adaptation to climate change in East Anglia, UK: Scaling and farmer decision making. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 127: 126-134.
  - 17- Guo R., Lin Z., Mo X., and Yang C. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agriculture Water Manage*, 97: 1185-1194.
  - 18- Huang Y., Yu Y., Zhang W., Sun W., Liu S., Jiang J., Wu J., Yu W., and Yang Z. 2009. Agro-C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agriculture and Forest Meteorology*, 149: 106-129.
  - 19- Ingham A., Ma J., and Ulph A. 2007. Climate change, mitigation and adaptation with uncertainty and learning. *Energy Policy*, 35: 5359-5369.
  - 20- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
  - 21- Jones C.A., and Kiniry J.R. (Eds.). 1986. *CERES-Maize: a Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas A&M University Press, College Station, TX, USA.
  - 22- Kucharik C.J. 2006. A multidecadal trend of earlier corn planting in the central USA. *Agronomy Journal*, 98: 1544-1550.
  - 23- Laux P., Jackel G., Tingem R.M., and Kunstmann H. 2010. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon—A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. *Agriculture and Forest Meteorology*, 150:1258-1271.
  - 24- Lopez-Cedron F.X., Boote K.J., Ruiz-Nogueira B., and Sau F. 2005. Testing CERES-Maize versions to estimate maize production in a cool environment. *European Journal of Agronomy*, 23: 89-102.
  - 25- Luo Q., Bellotti W., Williams M., and Wang E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australian: Analysis of management and breeding strategies. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 129: 261-267.
  - 26- Mall R.K., Lal M., Bhatia V.S., Rathore L.S., and Singh R. 2004. Mitigation climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study. *Agriculture and Forest Meteorology*, 121: 113-125.
  - 27- Meza F.J., Silva D., and Vigil H. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*, 98: 21-30.
  - 28- Meza F.J., and Silva D. 2009. Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change. *Climatic Change*, 94: 143-156.
  - 29- Mitchell J.F.B., Johns T.C., Gregory J.M., and Tett S. 1995. Climate response to increasing levels of greenhouse gases as sulphate aerosols. *Nature*, 376: 501-504.
  - 30- Nassiri M., Koocheki A., Kamali G.A., and Shahandeh H. 2007. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archieve of Agronomy and Soil Science*, 52(1): 113-124.
  - 31- Niggol Seo S., and Mendelsohn R. 2008. An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. *Ecological Economy*, 67: 109-116.
  - 32- Rosenzweig C., and Tubiello F.N. 2007. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation Adaptation Strategies Global Change*, 12: 855-873.
  - 33- Semenov M.A., Brooks R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climatic Research*, 11: 137-148.
  - 34- Smith P., and Olesen J.E. 2010. Climate change and Agriculture paper: Synergies between the mitigation of, adaptation to, climate change in agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 148: 543-522.
  - 35- Sultana H., Ali N., Iqbal M.M., and Khan M.M. 2009. Vulnerability and adaptability of wheat production in different climatic zones of Pakistan under climate change scenario. *Climatic Change*, 94: 123-142.
  - 36- Tao F., and Zhang Z. 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: Quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy*, 33: 103-116.
  - 37- Tingem M., and Rivington M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on

- the heat. *Mitigation Adaptation Strategies Global Change*, 14: 153-168.
- 38- Tranka M., Dubrovsky M., and Zalud Z. 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change*, 64: 227-255.
- 39- UNDP Internal Working Document. 2010. Global Maize Production, Environmental Impacts and Sustainable Production opportunities: A Scoping Paper.
- 40- Watanabe T., and Kume T. 2009. A general adaptation strategy for climate change impacts on paddy cultivation: special reference to the Japanese context. *Paddy Water Environment*, 7: 313-320.
- 41- Yoon S.T., Hoogenboom G., Flitcroft I., and Bannayan M. 2009. Growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in response to CO<sub>2</sub> enrichment under two different temperature regimes. *Environment and Experimental Botany*, 67: 178-187.
- 42- Zhi-Qing J., and Da-Wei Z. 2008. Impacts of Changes in Climate and Its Variability on Food Production in Northeast China. *Acta Agronomica Sinica*, 34(9): 1588-1597.



## Investigation of Mitigation of Climate Change Impacts on Maize Production in Northeast of Iran

A. Lashkari<sup>1</sup>- A. Alizadeh<sup>2\*</sup> - M. Bannayan Awal<sup>3</sup>

Received:6-2-2011

Accepted:10-7-2011

### Abstract

Development and evaluation of mitigation strategies are very crucial to manage climate change risk. Research objectives of this study were (1) to quantify the response of maize grain yield to potential impacts of climate change and (2) to investigate the effectiveness of changing sowing date of maize as a mitigation option for Khorasan Province which is located in northeast of Iran. Two type of General Circulation Models (HadCM3 and IPCM4) and three scenarios (A1B, A<sub>2</sub> and B<sub>1</sub>) at four locations (Mashhad, Birjand, Bojnourd and Sabzevar) employed in this study. Statistical downscaling method was applied for developing quantitative relationship between large scale atmospheric variables (predictors) and local variables (observes), and generating daily climatological variables performed by LARS-WG stochastic weather generator. The CSM-CERES-Maize model was used to achieve study objectives. The result showed that the simulated grain yields of maize gradually would decrease (ranged from -1% to -39%) during future 100 years compared to baseline under different scenarios and two GCM at all study locations. In general, Bojnourd experienced the highest simulated grain yields of maize under A1B scenario (12234 Kg/ha), A2 scenario (12662 Kg/ha) and B1 scenario (12653 Kg/ha) during the period of 2010-2039 by planting date of 19 June. Sabzevar experienced the lowest simulated grain yields of maize under A1B scenario (3320 Kg/ha), A2 scenario (2370 Kg/ha) and B1 scenario (3582 Kg/ha) during the period of 2070-2099 by planting date of 4 June. Delayed sowing of maize crop (from May to June) at all locations, except for Sabzevar is the most effective management factor in mitigating the thermal detrimental effects.

**Keywords:** Climate change scenarios, Crop growth simulation, General Circulation Model, Maize yield

1,3- PhD Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\*-Corresponding Author Email:alizadeh@gmail.com)