

تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بعنوان راهکار سازگاری

در شرایط آب و هوایی مشهد

روح الله مرادی^{1*}، علیرضا کوچکی² و مهدی نصیری محلاتی²

تاریخ دریافت: 91/2/12 تاریخ پذیرش: 92/4/2

1- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول E-Mail: Roholla18@gmail.com

چکیده

به منظور کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و ثبات تولید منطقه ای، استراتژیهای افزایش سازگاری به شرایط تغییر اقلیم ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از این مطالعه شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژیکی، شاخص سطح برگ، عملکرد زیست توده و دانه ذرت در شرایط تغییر اقلیم آینده و بررسی امکان تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر تولید ذرت با تغییر تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار مدیریتی در استان خراسان رضوی بود. برای این منظور دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، B1 و A2 در سه دوره زمانی 2020، 2050 و 2080 بکار برده شد. برای شبیه سازی پارامترهای اقلیمی و ایجاد فصل رشد احتمالی برای هر دوره از مدل LARS-WG و برای شبیه سازی رشد ذرت از مدل CERES-Maize استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که مدل LARS-WG پیش بینی مناسبی برای پارامترهای اقلیمی و شبیه سازی فصل رشد احتمالی در شرایط تغییر اقلیم آینده داشت. طول دوره کاشت تا گلدهی و همچنین طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک ذرت تحت تاثیر تغییر اقلیم در اکثر سناریوهای مورد استفاده کاهش نشان داد. نتایج شبیه سازی نشان داد که عملکرد ذرت تحت تاثیر تغییر اقلیم از 11 تا 38 درصد نسبت به شرایط کنونی کاهش یافت. بطور کلی کاشت زود هنگام ذرت (10 اردیبهشت) باعث تولید عملکرد بالاتری نسبت به سایر تاریخ های کاشت (20 اردیبهشت و 1 خرداد) در شرایط تغییر اقلیم شد. به نظر می‌رسد مدیریت مناسب تاریخ کاشت برای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تخفیف، سناریو، شبیه سازی، فنولوژی، مدل

Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad

R Moradi^{1*}, A Koocheki² and M Nassiri Mahallati²

Received: May 1, 2012 Accepted: June 23, 2013

¹PhD Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

²Asist Profs, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

*Corresponding author: E-mail: Roholla18@gmail.com

Abstract

Strategies to enhance local adaptation capacity are needed to mitigate climate change impacts and to maintain regional stability of food production. The objectives of this study were to simulate the climate change effects on phenology stages, Leaf Area Index (LAI), biomass and grain yield of maize in the future and to explore the possibilities of employing planting dates as mitigating options to decrease the climate change impacts on maize production in Khorasan Razavi province. For this purpose, we employed two types of General Circulation Models ((United Kingdom Met. Office Hadley Center: HadCM3) and (Institute Pierre Simon Laplace: IPCM4)) and three scenarios (A1B, A2 and B1) for three time period as 2020, 2050 and 2080. LARS-WG was used to produce daily climatic parameters as one stochastic growing season for each projection period and CERES-Maize model was used to simulate maize growth. The results of model evaluation showed that LARS-WG had appropriate prediction for climatic parameters and simulation of stochastic growing season in future climate change conditions. Time period from cultivation until anthesis and maturity were reduced in majority of scenarios as affected by climate change. The results indicated that the grain yield of maize may be reduced 11% to 38% as affected by climate change based on common planting date in baseline. In general, earlier planting date (1 May) caused higher yield compared with other planting dates (10 and 20 May). It seems that management of planting dates can be regarded as appropriate approach to reduce adverse effects of climate change on grain yield of maize.

Keywords: GCM, Mitigation, Model, Phonolgy, Simulation

مقدمه

گیر انسان بر اقلیم جهانی است (وولف 2002). نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده است همگی موید بروز این پدیده در کشور بوده اند (کوچکی و کمالی 1389). البته این

تغییر جهانی اقلیم یکی از مواردی است که در دهه‌های اخیر توجه محققان را به خود معطوف کرده است و بسیاری از مطالعات اخیر حاکی از تاثیر چشم-

تأثیر تغییرات اقلیمی می‌تواند بوسیله مدل‌هایی چون APSIM، SUCROS، WOFOST، DSSAT و غیره مورد ارزیابی قرار گیرد (ریدزما و همکاران 2010).

از آنجائی که تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد (سالینگر 2005، متا و باریر 2005). اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی چون، آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی، می‌تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد.

(آزکان و آکائوز 2002). تخفیف² و سازگاری³ دو روش شناخته شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشد. استراتژی‌های تخفیف به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مدیریتی مختلف از قبیل کاهش کاربرد کودهای شیمیایی (ورج و همکاران 2007)، مکانیزاسیون، افزایش ترسیب کربن، کشت و کار گیاهان زراعی با هدف تولید سوخت‌های زیستی (پالسون و همکاران 2001، اُگلی و همکاران 2005، فالون و بت 2010)، حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک (شیفرا و همکاران 2009) و غیره اشاره دارد. منظور از سازگاری نیز استراتژی‌های است که رشد و نمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی بوقوع پیوسته قرار بگیرد (روزنویگ و توبیلو 2007). راهکارهای سازگاری بسته به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت می‌باشد. از جمله این استراتژی‌ها می‌توان به تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت (بیندی و اُسن 2000، ترنکا و همکاران 2004)، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرمتر، تغییر در تناوب کاشت، مدیریت آبیاری و غیره

تحقیقات عمدتاً بر شاخص‌های اقلیمی تمرکز داشته و اثرات این تغییرات بر تولیدات کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر در مورد پدیده تغییر اقلیم در ایران، مستلزم انجام مطالعات گسترده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی واکنش سیستم‌های تولید کشاورزی هر منطقه به این تغییرات می‌باشد (کوچکی و نصیری 1387). با این حال در ایران تنها مطالعات اندکی در رابطه با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی صورت گرفته است (کوچکی و همکاران 1380، نصیری محلاتی و کوچکی 1384، نصیری محلاتی و همکاران 1385، کوچکی و کمالی 1389).

با وجودی که در طی سال‌های اخیر، آزمایش‌های انجام شده در محیط‌های کنترل شده اطلاعات زیادی را در مورد تأثیر افزایش درجه حرارت و یا غلظت دی‌اکسید کربن بر فرایندهای رشد و نمو گیاهان فراهم کرده است، ولی این نوع مطالعات بسیار پرهزینه بوده و اجرای آنها به وجود ابزار دقیق وابسته است (کوچکی و همکاران 1380). توسعه روش‌های مدل‌سازی جایگزینی مناسب و کم‌هزینه برای این نوع مطالعات است که در حال حاضر مورد توجه محققین قرار گرفته است. مدل‌های گردش عمومی (GCM¹) ابزار مناسب و در عین حال دقیقی برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده بوده و داده‌های لازم برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو محصولات زراعی تحت شرایط تغییر اقلیم را فراهم می‌سازند (جانز و همکاران 2003). بنابراین با در اختیار داشتن اطلاعات خروجی از مدل‌های رشد گیاهان زراعی می‌توان فرایندهای مرتبط با تغییر اقلیم را با سرعت زیاد و هزینه کم پیش‌بینی نمود. با این حال این نوع مطالعات در ایران از سابقه چندانی برخوردار نیست و اطلاعات اندکی در مورد پاسخ محصولات زراعی به شرایط اقلیمی آینده ایران در اختیار می‌باشد. رشد و نمو گیاهان زراعی تحت

² Mitigation

³ Adaptation

¹ General Circulation Model

توسعه ناچیز اقتصادی و تغییرات کند تکنولوژیکی می-باشد. بر اساس این سناریو غلظت CO₂ حدود 30 گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین 2 تا 5/4 درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (پرودهوم و همکاران 2010). SRES-B1 که شامل جهانی همگرا بوده که بیشترین رشد جمعیت در اواسط قرن حاضر اتفاق افتاده و رشد سریع در بخش اقتصادی و تکنولوژیکی وجود دارد. بر اساس این سناریو غلظت CO₂ تغییر چندانی نداشته و دما بین 1/1 تا 2/9 درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (وترهال و همکاران 2009) و SRES-A1B که نشان دهنده رشد سریع اقتصادی جهان، حداکثر رشد جمعیت در اواسط قرن حاضر وجود داشته و تکنولوژی با کارایی بالا بر اساس تعادل انرژی موجود می‌باشد. بر اساس این سناریو غلظت CO₂ حدود 15 گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین 1/7 تا 4/4 درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (آلسن و همکاران 2011) برای این تحقیق انتخاب شد. همچنین برای تهیه پارامترهای اقلیمی بصورت روزانه به منظور شبیه سازی فصل رشد احتمالی در هر دوره اقلیمی مورد بررسی از مدل LARS-WG استفاده شد. داده های اقلیمی روزانه شامل تشعشع، بارندگی و دمای حداکثر و حداقل برای 4 دوره زمانی (1360-1385 (سال مبنا)، 1400، 1430 و 1460) توسط این مدل شبیه سازی گردید.

جهت پیش‌بینی شرایط زراعی آینده در دشت مشهد داده‌های اقلیمی روزانه شامل: دمای حداقل و حداکثر، بارش و ساعات آفتابی مربوط به ایستگاه سینوپتیک مشهد در طول دوره 1360 تا 1385 جمع آوری شد. به منظور شبیه سازی فصل رشد احتمالی در هر دوره اقلیمی مورد بررسی، از مدل LARS-WG استفاده شد و سپس خروجی مدل برای سال‌های مشاهده شده (مبنا) با استفاده از رفتار آب و هوای منطقه و سری های زمانی تست شد. دقت خروجی های مدل LARS-WG با استفاده از آزمون میانگین مربعات

اشاره کرد (اسمیت و اسکینر 2002، توبیلو و همکاران 2002).

ذرت گیاهی است از خانواده گرامینه و از غلات مهم مناطق گرمسیری و معتدل جهان می‌باشد و از نظر تولید جهانی بعد از گندم و برنج مقام سوم را به خود اختصاص داده است (کازم پور و تاج بخش 1381) و با توجه به روند تغییرات اقلیمی اخیر و گرم شدن هوا (کوچکی و نصیری 1387)، بنظر می‌رسد، کشت کار این گیاه بعنوان یک گونه با مسیر فتوسنتزی C₄ اهمیت بیشتری پیدا کرده است. حساسترین مرحله رشد ذرت به دمای بالا، مرحله گلدهی آن می‌باشد، که افزایش دما، طول این دوره را کاهش می دهد (خابا و همکاران 2001). بنابراین، اگر کشاورزان استراتژی های سازگاری مناسب را در نظر نگیرند، بدلیل کوتاه شدن دوره گلدهی و از طرفی طول فصل رشد ذرت تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین، ممکن است عملکرد دانه ذرت در این شرایط کاهش یابد (نونحیل 1996، ترنکا و همکاران 2004).

بنابراین اهداف این تحقیق عبارت بودند از 1) ارزیابی کارایی مدل CERES-maize در تاریخ های مختلف کاشت؛ 2) شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژیک، شاخص سطح برگ (LAI)، زیست توده و عملکرد دانه ذرت؛ 3) بررسی پتانسیل کاهش اثرات تغییر اقلیم بر تولید ذرت توسط مدیریت تاریخ کاشت در استان خراسان رضوی.

مواد و روش ها

مدل اقلیمی و جمع آوری اطلاعات

دو مدل گردش عمومی¹ HadCM3 (میشل و همکاران 1995) و IPCM4² (سیمنو و استراتونوویچ 2010) تحت تاثیر سه سناریوی SRES-A2 که شامل شرایط بسیار ناهمگن محیطی، رشد بالای جمعیت،

¹ United Kingdom Met Office Hadley Center

² Institute Pierre Simon Laplace

اضافه شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر 10 روز یکبار بصورت نشتی و مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در 3 نوبت انجام گرفته بود. رقم مورد استفاده در این بررسی سینگل کراس 704 بود که ضرایب ژنتیکی آن در جدول 1 نشان داده شده است.

اعتبارسنجی مدل

برای اعتبار سنجی مدل رشد ذرت نیز از داده های آزمایشی که در سال زراعی 1389-1390 در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد بصورت کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت، استفاده گردید. در این آزمایش اثرات سطوح مختلف نیتروژن و آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل 3 سطح آبیاری (450، 550 و 650 میلیمتر) بعنوان فاکتور اصلی و 4 سطح کود نیتروژن (0، 150، 300 و 450 کیلوگرم در هکتار) بعنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. کاشت ذرت در تاریخ 20 اردیبهشت ماه سال 1390 انجام گرفت. رقم ذرت مورد استفاده سینگل کراس 704 بود. کود نیتروژنه مورد استفاده کود اوره (46 درصد نیتروژن) بود که در دو نوبت قبل از کاشت و در زمان گل دهی ذرت انجام گرفت. عملکرد دانه و بیومس، شاخص سطح برگ و طول دوره زایشی (روز تا گل دهی) بعنوان صفات مورد ارزیابی برای اعتبار سنجی مدل رشد ذرت در نظر گرفته شدند.

ریشه ($RMSE^1$) برای ایستگاه مورد نظر اعتبار سنجی شد. سپس با استفاده از مدل LARS-WG داده های اقلیمی یک سال نمونه برای ایستگاه مشهد در سه دوره زمانی 2010 تا 2040، 2041 تا 2070 و 2071 تا 2100 با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریو استاندارد A2، B1 و A1B برآورد شد.

واسنجی مدل

به منظور شبیه سازی پارامترهای مختلف رشدی ذرت، مدل سیستم گیاهی ذرت (CERES-Maize) توسط نرم افزار $DSSAT^2$ مورد استفاده قرار گرفت. مدل با استفاده از داده های آزمایشی که در سال زراعی 88-89 در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در 10 کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی 36 درجه و 16 درجه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 36 دقیقه شرقی و ارتفاع 985 متری از سطح دریا انجام گرفته بود، واسنجی شد (کوچکی و همکاران، 1391). این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با 3 تکرار اجرا شد. تیمارها شامل کود نیتروژن در چهار سطح: صفر، 50، 100 و 150 کیلوگرم بر اساس اوره و الگوی کاشت نیز در 3 سطح کشت خالص ذرت، کشت خالص پنبه و کشت مخلوط یک در میان پنبه و ذرت بود. کاشت در تاریخ 15 اردیبهشت ماه سال 1389 در کرت هایی به ابعاد 3×4 متر با فاصله ردیف 60 سانتی متر انجام گرفته بود. فاصله دو بوته ذرت (رقم سینگل کراس 704) روی ردیف 20 سانتی متر و فاصله دو بوته پنبه (رقم ورامین) بر روی ردیف 15 سانتی متر در نظر گرفته شد. کود اوره (46 درصد نیتروژن) در دو نوبت قبل از کاشت و 50 روز بعد از کاشت به زمین

¹ Root mean-squared error

² Decision Support System for Agrotechnology Transfer

جدول 1- ضرابی ژنتیکی رقم سینگل کراس 704 مورد استفاده در مدل CSM-CERES-Maize

P1(°C day)	PHINT(°C day)	G3(mg day ⁻¹)	G2 (Nr)	P5(°C day)	P2 (days)
230	50	8	900	800	0/6

P1: زمان دمایی (Thermal time) از ظهور گیاهچه تا پایان مرحله جوانی (juvenile phase).

P2: میزان تاخیر در نمو ذرت در صورت عدم تامین طول روز مطلوب،

P5: طول دوره پر شدن دانه، G2: حداکثر تعداد دانه تولید شده در بوته،

G3: سرعت پر شدن دانه در مرحله پر شدن خطی دانه تحت شرایط مطلوب رشد، PHINT

G1: فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی (فیلوکرون)

تعیین اعتبار مدل

شود به این معنی است که اختلاف بین داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده معنی دار نیست و فرض یک نیز عکس این موضوع را نشان می دهد. به منظور تعیین اعتبار مدل مورد استفاده، صفات عملکرد دانه، زیست توده، حداکثر شاخص سطح برگ و تعداد روز تا گلدهی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. مدل پس از تعیین اعتبار جهت پیش بینی رشد و نمو ذرت در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت.

مدیریت تاریخ کاشت بعنوان استراتژی سازگاری

به منظور تخفیف اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد و نمو گیاه ذرت، تغییر در تاریخ کاشت بعنوان یک راهکار سازگاری در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت رایج برای ذرت بر اساس آزمایش انجام گرفته در بالا برای منطقه مشهد 20 اردیبهشت بود. همانطور که قبلا اشاره شد، از آنجایی که حساسترین مرحله رشد ذرت به گرما، مرحله گلدهی آن می باشد. برای سازگاری ذرت به گرمایش هوا، راهکارهای سازگاری بصورتی در نظر گرفته شد، که این مرحله با حداکثر دمای هوا مواجه نشود. بدین منظور تاثیر دو تاریخ کاشت 10 اردیبهشت و اول خرداد بر کاهش اثرات تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت.

در این تحقیق از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات انحراف ها (RMSD)، کارایی مدل (ME)، خط 1:1 و رگرسیون خطی برای مقایسه نتایج مدل با واقعیت استفاده شد، که از روابط زیر محاسبه شدند (لاگو و گرین 1991):

$$RMSE = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad [1]$$

$$RMD = \frac{100}{\bar{O}} \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{n} \quad [2]$$

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

P_i: مقادیر پیش بینی شده، O_i: مقادیر اندازه گیری شده، n: تعداد مشاهدات و \bar{O} : میانگین داده های اندازه گیری شده.

همچنین معادله رگرسیون برازش داده شده بین داده های مشاهده شده¹ و پیش بینی شده² که معادله آن در زیر آمده است (معادله 4) با خط 1:1، توسط تست t (t-test) تست شد.

$$\text{Simulated} = a + b \times \text{Observed} \quad [4]$$

b=1 بعنوان فرض صفر (H₀) و b≠1 بعنوان فرض یک (H₁) در تست t در نظر گرفته شد. اگر فرض صفر پذیرفته

¹ Observed

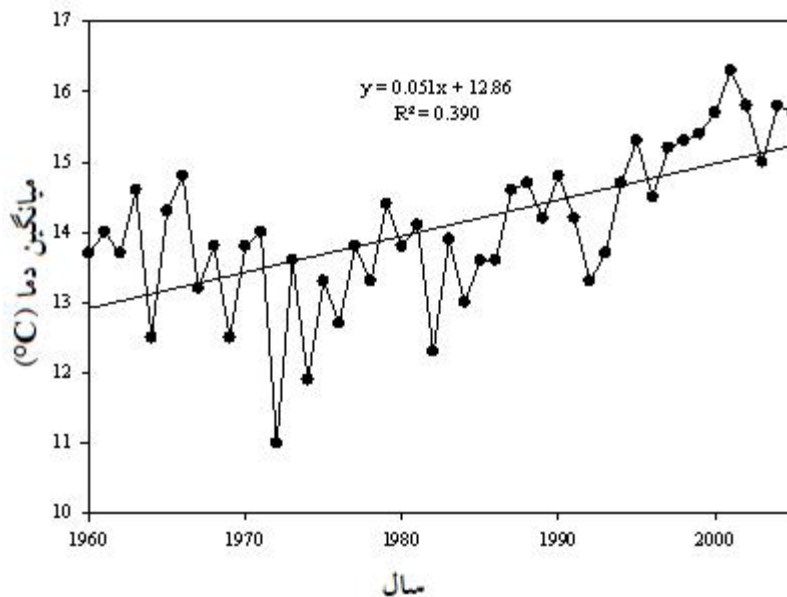
² Simulated

نتایج و بحث

(شکل 1). بطوریکه سالانه حدود 0/05 درجه سانتی گراد به میانگین دمای منطقه افزوده شده است و بالاترین میانگین دمای ثبت شده برای دشت مشهد در سال 1998 با حدود 16/3 درجه سانتی گراد بود (شکل 1). این نتایج موضوع تغییر اقلیم برای این منطقه را تصدیق می کند.

بررسی روند تغییرات درازمدت میانگین دما برای منطقه مشهد

بررسی روند تغییرات 45 ساله دما (1960-2005) برای منطقه مشهد نشان داد که با گذشت زمان میانگین سالانه دمای این منطقه روند افزایشی داشته است



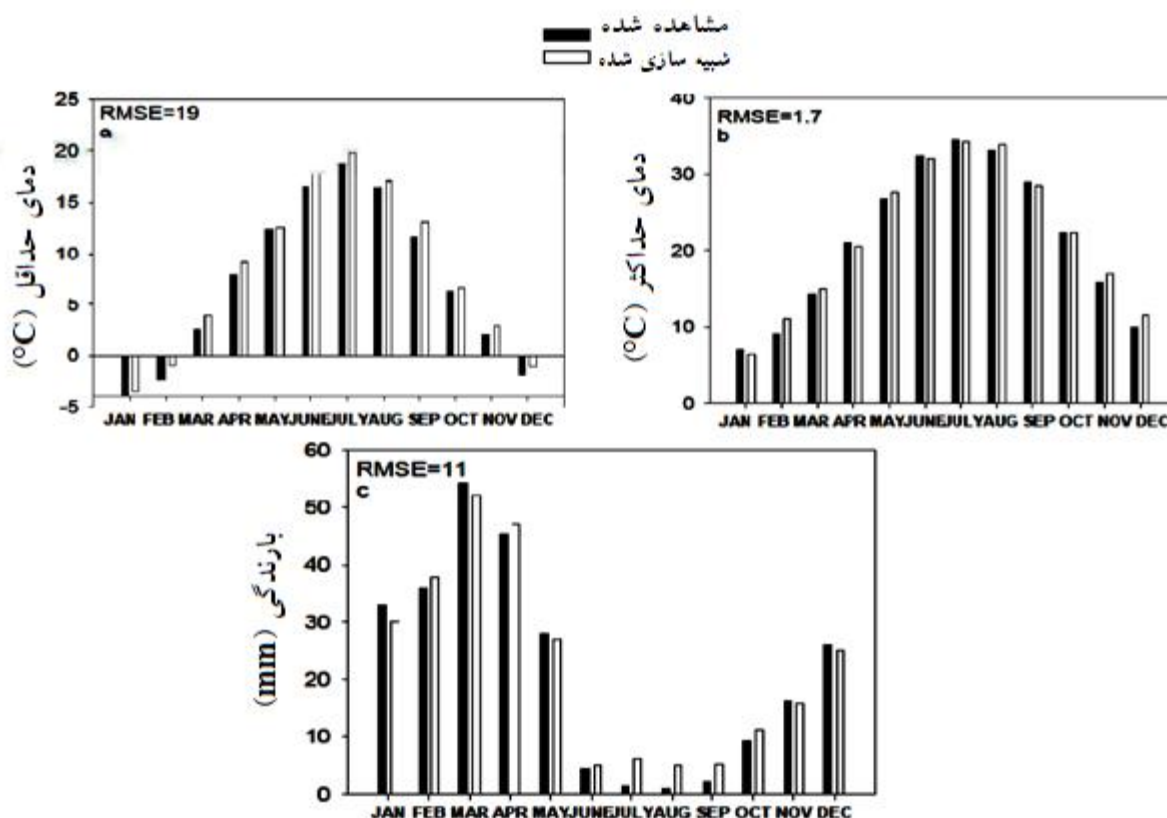
شکل 1- روند تغییرات درازمدت میانگین درجه حرارت سالانه برای منطقه مشهد

اختلاف 11%± از داده های مشاهده شده شبیه سازی شد و این اختلاف برای مینیمم دما برابر 19%± بود (شکل 2). با توجه به شکل 2، مقدار مینیمم دما در تمام ماه های سال بیشتر از مقدار واقعی پیش بینی شده بود¹ که منجر به پایین بودن دقت LARS-WG در شبیه سازی مینیمم گردید. بطور کلی نتایج اعتبارسنجی نشان داد که LARS-WG قابلیت خوبی در شبیه سازی داده های اقلیمی (بارندگی، دمای ماکزیمم و مینیمم) دارد و می توان از این داده های اقلیمی برای شبیه سازی فصل رشد احتمالی در شرایط آینده تغییر اقلیم و مطالعات مربوط به تاثیر این عوامل اقلیمی بر رشد و نمو گیاهان زراعی استفاده کرد.

اعتبارسنجی داده های حاصل از LARS-WG

نتایج اعتباردهی داده های حاصل از LARS-WG نشان داد که LARS-WG دقت بیشتری در شبیه سازی دمای ماکزیمم در مقایسه با دمای مینیمم و بارندگی داشت (شکل 2). ماکزیمم دمای شبیه سازی شده توسط LARS-WG با اختلاف 1/7%± از داده های مشاهده شده برآورد گردیدند، بطوریکه RMSE به دست آمده برای ماکزیمم دما برابر 1/7 بود که بیانگر دقت بالای LARS-WG در شبیه سازی دمای ماکزیمم می باشد (شکل 2). با توجه به RMSE محاسبه شده برای بارندگی (11%) و مینیمم دما (19%)، می توان بیان کرد که LARS-WG میزان بارندگی را با دقت بالاتری در مقایسه با مینیمم دما برای منطقه مشهد شبیه سازی کرد (شکل 2). بطوریکه میزان بارندگی با

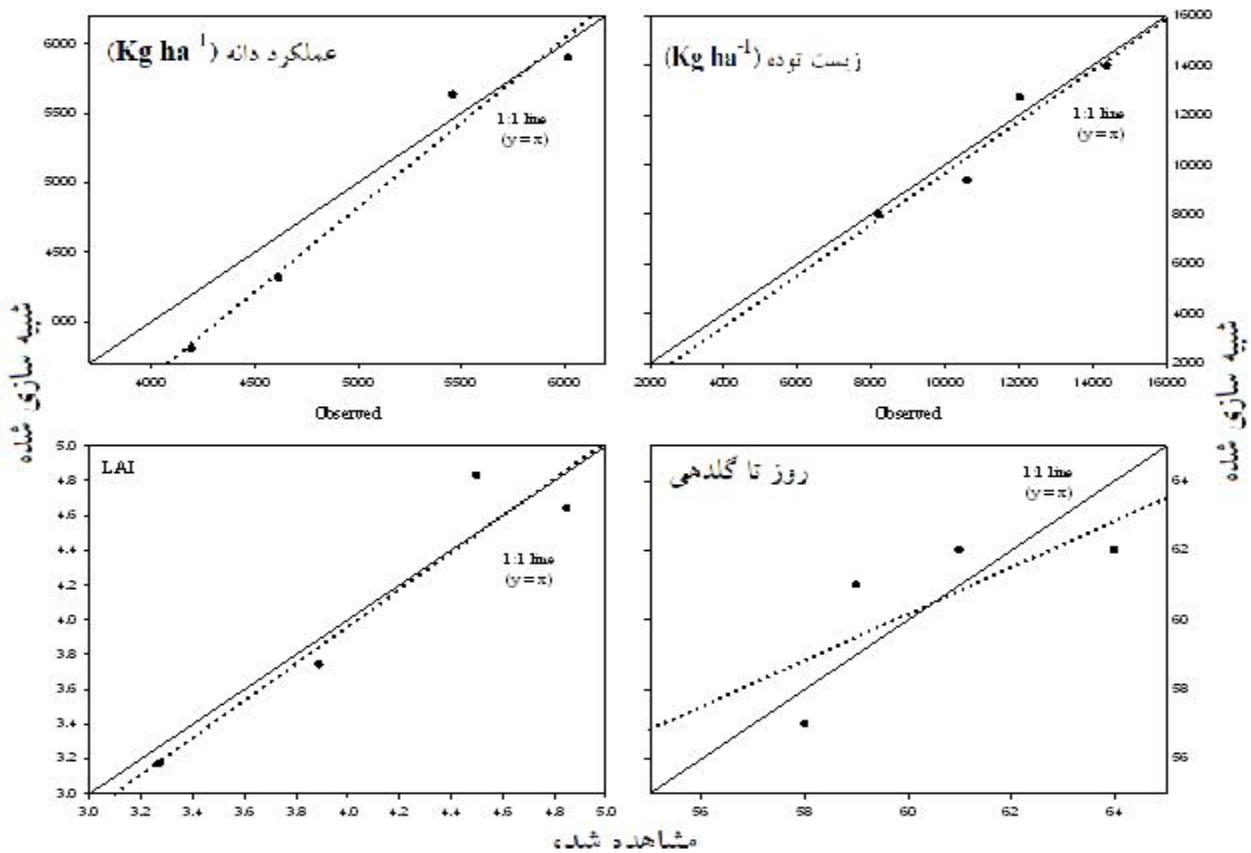
¹ Over estimated



شکل 2- اختلاف بین داده های اقلیمی (دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی) مشاهده شده و پیش بینی شده حاصل از LARS-WG و تعیین اعتبار آنها با استفاده از RMSE.

اعتباردهی مدل رشد
نتایج ارزیابی مدل رشد نشان داد که مدل برآورد مناسبی برای پیش بینی صفات حداکثر شاخص سطح برگ، روز تا گلدهی، زیست توده و عملکرد دانه داشت (جدول 2). میزان حداکثر شاخص سطح برگ، روز تا گلدهی، عملکرد دانه و بیولوژیک با اختلاف $5/22 \pm$ ، $2/61 \pm$ و $6/60 \pm$ از داده های اندازه گیری شده توسط مدل شبیه سازی شد (جدول 2). همبستگی معنی داری بین داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده برای صفات مذکور مشاهده شد (جدول 3). با توجه به مقادیر ME و RMD می توان بیان کرد که مدل تمام صفات مورد مطالعه را با دقت بالایی شبیه سازی کرده است (جدول 2). بیشترین همبستگی بین داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده مربوط به عملکرد دانه با ضریب همبستگی $0/97$ و کمترین همبستگی مربوط به صفت روز تا گلدهی با ضریب همبستگی $0/55$ بود (جدول 3). نتیجه آزمون تست t برای تمام صفات نشان داد که فرض صفر برای شیب معادله رگرسیونی برازش داده قابل قبول بوده و این بدان معناست که اختلاف معنی داری بین خط $1:1$ ($y=x$) و رگرسیون برازش داده شده بین داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده وجود ندارد (جدول 3 و شکل 3).

سازگی کرده است (جدول 2). بیشترین همبستگی بین داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده مربوط به عملکرد دانه با ضریب همبستگی $0/97$ و کمترین همبستگی مربوط به صفت روز تا گلدهی با ضریب همبستگی $0/55$ بود (جدول 3). نتیجه آزمون تست t برای تمام صفات نشان داد که فرض صفر برای شیب معادله رگرسیونی برازش داده قابل قبول بوده و این بدان معناست که اختلاف معنی داری بین خط $1:1$ ($y=x$) و رگرسیون برازش داده شده بین داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده وجود ندارد (جدول 3 و شکل 3).



شکل 3- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده صفات مورد بررسی در ذرت با استفاده از خط 1:1

جدول 2- مقایسه میزان مشاهده شده و برازش داده شده صفات مورد بررسی در ذرت بوسیله RMSE، ME و RMD

صفات	RMSE	ME	RMD
وزن دانه	5/34	0/85	3/23
زیست توده	6/60	0/89	2/71
حداکثر LAI	5/22	0/87	0/79
روز تا گلدهی	2/61	0/52	0

جدول 3- نتایج تست t برای مقایسه معادله رگرسیون بین میزان مشاهده شده و برازش داده شده با خط 1:1 ($y = a + bx$)

صفات	R^2	t	b
		t_b	Std. Error
مقدار			
عملکرد دانه	0/97	1/43	1/21
زیست توده	0/92	0/15	1/03
حداکثر LAI	0/90	0/26	1/06
روز تا گلدهی	0/55	1/93	0/66

اثر تغییر اقلیم بر رشد و نمو ذرت

مراحل فنولوژیکی

که افزایش درجه حرارت باعث تسریع در مراحل فنولوژیکی این گیاه می شود و اشاره کردند که در محدوده بین 10 تا 35 درجه سانتی گراد، افزایش درجه حرارت منجر به تسریع در سرعت نمو ذرت شده ولی در دمای بالای 41 درجه سانتی گراد تمام ارقام ذرت مورد مطالعه بشدت تاثیر پذیرفته و باعث کاهش در سرعت نمو و بعبارتی اختلال در رشد ذرت شد. ایشان تایید کردند که در شرایط شبیه سازی شده تغییر اقلیم در کلیه سناریوهای مورد بررسی، مشاهده شد که تعداد درجه روز رشد (GDD) مورد نیاز برای تکمیل رشد ذرت در زمان کوتاهتری تامین شد.

عملکرد دانه

نتایج شبیه سازی شده نشان داد که بطور کلی عملکرد دانه ذرت در شرایط آینده تغییر اقلیم در منطقه مشهد کاهش خواهد یافت، بطوریکه، این صفت تحت تاثیر کلیه سناریوهای مورد استفاده برای هر دو مدل گردش عمومی و در تمامی دوره مورد بررسی، نسبت به شرایط کنونی کاهش نشان داد (جدول 4). دوره 2050 در سناریوی B1 تحت تاثیر مدل گردش عمومی IPCM4 با 4708 کیلوگرم عملکرد دانه ذرت، کمترین اختلاف را با شرایط کنونی (5317 کیلوگرم در هکتار) نشان داد (جدول 4). بطوریکه میزان کاهش عملکرد در این سناریو نسبت به شرایط کنونی حدود 11 درصد بود (جدول 4). دوره زمانی 2080 در سناریوی A2 تحت تاثیر مدل گردش عمومی HadCM3 کمترین عملکرد (3316 کیلوگرم در هکتار) دانه ذرت را بر اساس پیش بینی ها برای شرایط اقلیمی آینده نشان داد و بعد از آن نیز دوره 2080 برای سناریوی A1B در مدل گردش عمومی HadCM3 کمترین عملکرد پیش بینی شده ذرت را برای شرایط آب و هوایی مشهد نشان داد (جدول 4). بطور کلی نتایج نشان داد که سناریوی B1 در مدل گردش عمومی HadCM3 نسبت به دیگر سناریوها دارای کمترین کاهش عملکرد در مقایسه با شرایط کنونی بود (جدول 4).

تعداد روز از کاشت تا گلدهی ذرت در تمام مدل های گردش عمومی و کلیه سال های پیش بینی شده بجز دوره 2020 در سناریوی B1 برای مدل گردش عمومی HadCM3 و دوره 2020 در سناریوی A2 برای مدل گردش عمومی IPCM4 نسبت به شرایط کنونی منطقه مشهد کاهش نشان داد (جدول 4). دو سناریوی A1B و A2 در سال 2080 برای مدل گردش عمومی HadCM3 (با دارا بودن به ترتیب 53 و 54 روز) دارای کمترین تعداد روز تا گلدهی بودند (جدول 4). بطوریکه بر اساس این دو سناریو، تعداد روز تا گلدهی ذرت به ترتیب حدود 17 و 15 درصد نسبت به شرایط کنونی در سال 2080 کاهش نشان داد. بطور کلی نتایج نشان داد که تعداد روز از کاشت تا گلدهی ذرت در منطقه مشهد تحت تاثیر تغییرات اقلیمی پیش رو نسبت به وضعیت کنونی کاهش خواهد یافت (جدول 4)، که بنظر می رسد دلیل اصلی این امر افزایش دمای هوا بین 1 تا 5 درجه سانتی گراد (IPPC، 2007) بر اساس سناریوهای مذکور باشد. مشاهده پیش بینی تعداد روز تا گلدهی ذرت در تمامی سناریوها و هر دو مدل گردش عمومی مورد استفاده نشان داد که در کلیه سناریوها، با افزایش زمان، تعداد روز در گلدهی در گیاه ذرت کاهش یافت، بطوریکه سال 2080 در کلیه سناریوها و مدل های گردش عمومی، شامل تعداد روز تا گلدهی کمتری نسبت به سال های 2020 و 2050 بود (جدول 4). تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی ذرت نیز از همین روند پیروی کرد (جدول 4).

سوتوورد و همکاران (2000) گزارش کردند که افزایش دما بطور غیر مستقیم و از طریق تاثیر بر طول مراحل فنولوژیکی و نیز مراحل حساس رشد ذرت مثل تولید تاسل و ابریشم منجر به کاهش عملکرد ذرت در این شرایط می گردد. مزا و همکاران (2008) نیز با بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد و مراحل فنولوژیکی ذرت گزارش کردند

جدول 4- تاثیر تغییرات اقلیمی شبیه سازی شده تحت تاثیر سناریوها و مدل های گردش عمومی در دوره های

مختلف بر تعدادی از صفات ذرت نسبت به شرایط کنونی در منطقه مشهد

مدل	سناریو	دوره	زمان گلدهی	زمان رسیدگی فیزیولوژیک	عملکرد دانه (Kg ha ⁻¹)	زیست توده (Kg ha ⁻¹)	حداکثر شاخص سطح برگ
		زمان کنونی	62	105	5317	18374	5/11
		2020	61	102	4433	18947	4/94
	A1B	2050	58	96	3896	16847	4/47
		2080	56	91	3857	16623	4/58
		2020	60	101	4288	18073	4/60
	A2	2050	58	96	4608	18314	4/45
		2080	55	90	3316	15283	4/35
		2020	62	103	4570	19007	4/86
	B1	2050	58	97	4227	18228	4/76
		2080	57	94	4361	17912	4/41
		2020	60	101	4105	18116	4/70
	A1B	2050	58	96	3950	17345	4/61
		2080	54	90	4013	16829	4/52
		2020	62	103	4106	18407	4/55
	A2	2050	58	96	4148	17592	4/41
		2080	53	88	4055	16926	4/40
		2020	60	101	4081	18184	4/65
	B1	2050	58	97	4708	18123	4/19
		2080	57	94	4045	17574	4/47

میانی آمریکا منجر به تغییر عملکرد ذرت در این منطقه بین 5- تا 50- درصد تا 50 سال آینده خواهد شد در حالیکه در نواحی شمالی آمریکا منجر به بهبود عملکرد ذرت تا 20 درصد خواهد شد. مرا و همکاران (2006) تایید کردند که افزایش درجه حرارت بیشترین تاثیر را بر مرحله گلدهی ذرت گذاشته و با کاهش درصد و دوره تلقیح گل، منجر به کاهش عملکرد ذرت شده است. ایشان اشاره کردند که افزایش 2 درجه دما باعث کاهش دوره گلدهی ذرت از 10 به 8 روز شده که خود تاثیر بسزایی در کاهش تعداد دانه تشکیل شده و عملکرد ذرت دارد. از طرفی مزا و همکاران (2008) تاکید کردند که تغییرات اقلیمی بیشترین تاثیر را بر میزان فتوسنتز گیاهان زراعی گذاشته و از این طریق بر عملکرد تاثیر

الکساندر و هوگمبوم (2000) نیز اثر تغییرات اقلیمی را بر عملکرد ذرت برای دوره 2020، 2050 و 280 شبیه سازی کردند و ایشان نیز گزارش کردند که کاهش عملکرد در دوره 2080 نسبت به دو دوره دیگر کمتر بود، بطوریکه حداکثر عملکرد شبیه سازی شده در سه دوره به ترتیب حدود 7، 6/2 و 5/3 تن در هکتار گزارش کردند.

لی و همکاران (2011) با بررسی تغییرات اقلیمی تا سال 2030 بر عملکرد ذرت در چین و آمریکا گزارش کردند که افزایش دما تا سال 2030 منجر به کاهش عملکرد ذرت در آمریکا و چین به ترتیب حدود 8 و 23 درصد خواهد شد. همچنين سوتوورد و همکاران (2000) بیان کردند که افزایش درجه حرارت در مناطق

درجه حرارت بالاتر با افزایش سرعت نمو (مرا و همکاران 2006)، کاهش فتوسنتز (مزا و همکاران 2008) و همچنین کوتاه کردن مراحل فنولوژیکی ذرت (الکساندر و هوگمبوم 2000) باعث کاهش تولید ماده خشک این گیاه شده است. همچنین بنظر می‌رسد، از آنجایی که، تغییرات اقلیمی آینده منجر به کاهش فصل رشد گیاه می‌گردد، بنظر می‌رسد کاهش طول فصل رشد منجر به کاهش دریافت تشعشع فتوسنتزی (ویلر و همکاران 2000) و در نتیجه کاهش تولید بیومس و عملکرد بیولوژیک شده است. لائوکس و همکاران (2010) نیز با شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی توسط سناریوها و مدل های گردش عمومی مختلف تایید کردند که بیومس گیاه ذرت در سناریوی A2 و B2 تحت تاثیر مدل گردش عمومی HadCM3 برای دوره 2080 کاهش بیومس بیشتری را نسبت به دوره 2020 نشان داد و تاکید کردند که اثرات مضر افزایش دما با گذشت زمان چشم گیرتر خواهد بود.

حداکثر LAI

پیش بینی این صفت نیز تحت تاثیر تغییرات اقلیمی نیز نشان داد که در تمامی سناریوها و مدل های گردش عمومی و دوره های مورد بررسی حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به مقدار این صفت در شرایط کنونی مشهود کاهش می یابد (جدول 4). در این میان، سناریوی B1 برای مدل گردش عمومی IPCM4 در دوره 2050 و سناریوی A2 در دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 برای دوره 2080 به ترتیب با 4/35 و 4/4 حداکثر شاخص سطح برگ، بیشترین کاهش را نسبت به شرایط کنونی (5/11) در مورد این صفت نشان دادند. از طرفی کمترین کاهش حداکثر شاخص سطح برگ به ترتیب برای دوره 2020 در دو سناریوی A1B و B1 برای مدل گردش عمومی HadCM3 حاصل شد (جدول 4).

البته باید خاطر نشان شد که ما در این سناریوها، دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از وارد کردن تغییرات

می گذارد. الکساندر و هوگمبوم (2000) نیز با بررسی افزایش درجه حرارت در شرایط آینده گزارش کردند که تحت این شرایط عملکرد دانه ذرت حدود 10 درصد کاهش یافته که ایشان دلیل این تغییر را، کاهش طول دوره رشد ذرت بیان کردند. نتایج مشابه نیز توسط کوکولینو و همکاران (1999) برای کشور رومانی و توسط کاپاتانکی و روسنزوینگ (1997) برای مصر گزارش شد. بر اساس نتایج شبیه سازی در تحقیق ما نیز بنظر می‌رسد افزایش دما تحت سناریوهای مورد بررسی بر طول فصل رشد، مرحله گلدهی و فتوسنتز ذرت تاثیر منفی گذاشته و از این طریق منجر به کاهش 11-37 عملکرد ذرت (جدول 4) تحت تاثیر سناریوهای مختلف و مدل های گردش عمومی شده است.

زیست توده

زیست توده ذرت در دوره 2020 برای مدل گردش عمومی HadCM3 در دو سناریوی A1B و B1 و مدل گردش عمومی IPCM4 برای سناریوی A2 نسبت به شرایط کنونی اقلیم مشهود افزایش نشان داد و در بقیه سناریوها و مدل های گردش عمومی نسبت به شرایط کنونی کاهش نشان داد (جدول 4). از بین کلیه سناریوها و مدل های گردش عمومی مورد استفاده، سناریوی A2 در دوره زمانی 2080 تحت تاثیر مدل گردش عمومی HadCM3 بیشترین کاهش عملکرد بیولوژیک را نسبت به عملکرد بیولوژیک کنونی ذرت در مشهود نشان داد و بعد از آن نیز سناریوهای A1B در هر دو مدل گردش عمومی و A2 در مدل گردش عمومی IPCM4 در دوره 2080 بیشترین میزان کاهش این صفت را دارا بودند (جدول 4).

نتایج شبیه سازی نشان داد که با گذشت زمان میزان بیومس تولیدی اختلاف بیشتری با مقدار این صفت در شرایط کنونی مشهود نشان داد و در دوره 2080 در کلیه سناریوها و مدل های گردش عمومی کمتر از دو دوره قبلی بود (جدول 4)، که بنظر می‌رسد خود تحت تاثیر افزایش بیشتر درجه حرارت با گذشت زمان بر اساس سه سناریوی مورد استفاده باشد که

گردید (جدول 5). دامنه تغییرات طول دوره رسیدگی فیزیولوژیکی ذرت در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به سال مبنا (105 روز) از +1 تا -18 روز بود به عبارتی از 106 تا 87 روز متغیر بود (جدول 5). نتایج شبیه سازی طول دوره مراحل فنولوژیکی ذرت نشان داد که کشت دیر هنگام ذرت باعث کاهش طول این دوره در شرایط تغییر اقلیم آینده می شود. تاکید شده است که کاشت دیرتر ذرت، بطوریکه مرحله گلدهی این گیاه با اوج گرمایی منطقه کشت این گیاه تطابق نداشته باشد، تا حدود زیادی می تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم و گرمایش زمین بر عملکرد ذرت نقش داشته باشد (سوتوورد و همکاران 2000). همچنین ایشان بیان کردند با توجه به گرمایش زمین و افزایش نسبی دما در اوایل پاییز در آینده تغییر اقلیم کاشت دیر هنگام ذرت دیگر با خطر سرمای آخر فصل مواجه نخواهد شد و از این لحاظ مشکلی پیش نخواهد آمد.

حداکثر شاخص سطح برگ و زیست توده

بیشترین حداکثر شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت 20 اردیبهشت در سناریوی A1B با مدل گردش عمومی HadCM3 و کمترین مقدار مربوط به کشت ذرت در تاریخ 10 اردیبهشت تحت سناریوی A1B در مدل گردش عمومی IPCM4 در سال 2020 بود (جدول 4 و 5). در اکثر تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و در زمان های مختلف، حداکثر شاخص سطح برگ در سناریوی A1B نسبت به سایر سناریوها بالاتر بود (جدول 4 و 5). تغییرات بیوماس پیش بینی شده در شرایط تغییر اقلیم آینده نسبت به سال مبنا (18374 کیلوگرم در هکتار) از $+3/42$ تا $-16/84$ درصد متغیر بود، بطوریکه بیشترین مقدار مربوط به تاریخ کاشت 20 اردیبهشت تحت سناریوی B1 در سال 2020 و کمترین مقدار در کشت 20 اردیبهشت در سناریوی A2 در سال 2080 در مدل گردش عمومی HadCM3 بود (جدول 4 و 5).

CO₂ صرفنظر کرده ایم و شاید اگر تلفیق افزایش درجه حرارت و CO₂ در نظر گرفته می شد، نتایج تا حدودی تفاوت نشان می داد. اما باید خاطر نشان شد که در اکثر مطالعات صورت گرفته، تایید شده است که هنگامی که اثر متقابل درجه حرارت و CO₂ در نظر گرفته می شود، اثر منفی افزایش درجه حرارت به مراتب بیشتر از اثر مثبت دی اکسید کربن بوده و باز هم عملکرد، بیومس و شاخص سطح برگ گیاهان زراعی مورد استفاده کاهش نشان داده است (چنگ و همکاران 2009). البته گزارش شده است که گیاهان C4 مانند ذرت که دارای آناتومی کرانز می باشند، در شرایط کنونی با کمبود CO₂ مواجه نبوده و به همین دلیل افزایش غلظت این عنصر تأثیر معنی داری بر عملکرد این گیاه نمی گذارد (روزنویگ و هیل 1998، سوتوورد و همکاران 2000).

تأثیر تغییر تاریخ کاشت بعنوان راهکار سازگاری بر کاهش اثرات تغییر اقلیم فنولوژی ذرت

صفات روز تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک به عنوان مهمترین مراحل فنولوژیکی ذرت در نظر گرفته شدند. طول دوره بین کاشت تا گلدهی ذرت تحت سناریوها و تاریخ کاشت های مختلف از +4 تا -11 روز در مقایسه با سال مبنا متفاوت بود (جدول 5). نتایج شبیه سازی نشان داد که طول دوره رشد رویشی در کاشت زود هنگام ذرت (10 اردیبهشت) افزایش می یابد، در صورتی که تاریخ کاشت های دیر هنگام (20 اردیبهشت و 1 خرداد) باعث کاهش طول این دوره در تمام سناریوها و زمان های مختلف گردید (جدول 5). سناریوی A2 کوتاهترین طول دوره کاشت تا گلدهی را بویژه در مدل گردش عمومی HadCM3 نشان داد، بطوریکه کوتاهترین طول دوره رویشی (52 روز) در تاریخ کاشت اول خرداد تحت سناریوی A2 در سال 2080 برای هر دو مدل گردش عمومی شبیه سازی

جدول 5- مقادیر شبیه سازی شده صفات مورد بررسی در ذرت تحت تاثیر سناریوها و مدل های گردش عمومی در

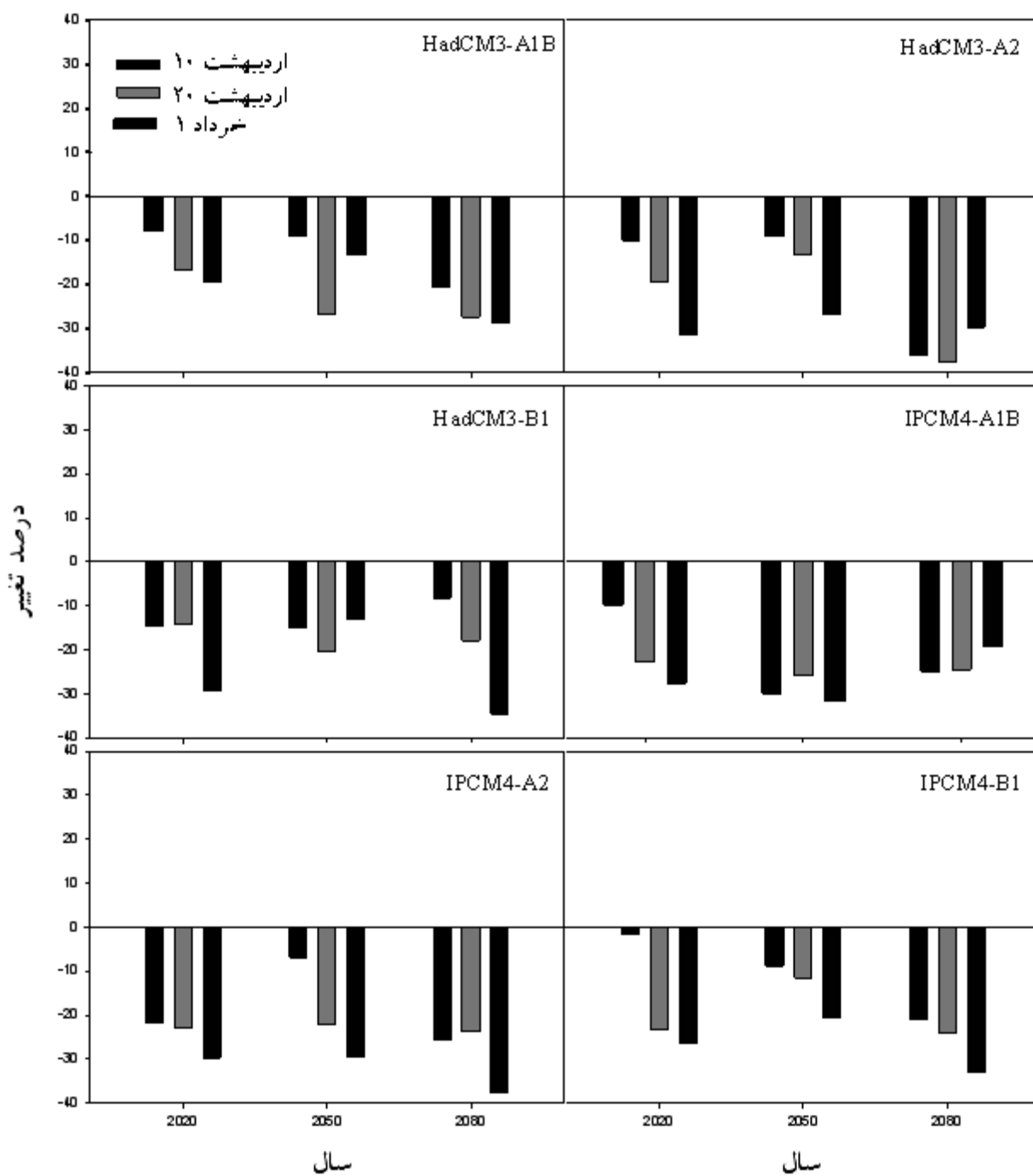
دوره های زمانی مختلف بر اساس مدیریت تاریخ کاشت

مدل	سناریو	دوره	زمان گلدهی	زمان رسیدگی فیزیولوژیک	عملکرد دانه (Kg ha ⁻¹)	زیست توده (Kg ha ⁻¹)	حداکثر شاخص سطح برگ
		زمان کنونی	62	105	5317	18374	5/11
		2020	65	101	4891	18050	4/21
		10 اردیبهشت 1 خرداد	59	105	4277	18246	4/42
		2050	60	98	4838	18505	4/69
		10 اردیبهشت 1 خرداد	55	94	4608	18314	4/45
		2080	58	95	4225	17445	4/43
		10 اردیبهشت 1 خرداد	54	89	3782	17554	4/78
	A1B	2020	65	106	4786	17391	3/95
		10 اردیبهشت 1 خرداد	57	99	3642	17220	4/34
		2050	60	98	4838	18505	4/69
	A2	10 اردیبهشت 1 خرداد	55	94	3896	16867	4/47
		2080	56	91	3390	16336	4/53
		10 اردیبهشت 1 خرداد	52	87	3735	16744	4/51
		2020	65	105	4546	17671	4/11
		10 اردیبهشت 1 خرداد	59	101	3763	17170	4/08
		2050	61	99	4518	17697	4/39
	B1	10 اردیبهشت 1 خرداد	56	95	4617	18394	4/44
		2080	61	98	4880	18181	4/38
		10 اردیبهشت 1 خرداد	56	93	3475	17000	4/61
		2020	66	106	4791	17386	3/93
		10 اردیبهشت 1 خرداد	59	101	3847	17294	4/25
		2050	60	97	3724	17367	4/62
	A1B	10 اردیبهشت 1 خرداد	55	93	3635	17251	4/63
		2080	58	94	3996	16820	4/34
		10 اردیبهشت 1 خرداد	53	89	4289	18123	4/76
		2020	65	106	4162	17611	4/26
		10 اردیبهشت 1 خرداد	59	102	3740	17620	4/65
		2050	61	99	4954	18309	4/34
	A2	10 اردیبهشت 1 خرداد	55	94	3746	16824	4/55
		2080	56	92	3955	16637	4/36
		10 اردیبهشت 1 خرداد	52	87	3316	15349	4/25
		2020	64	104	5227	18548	4/19
		10 اردیبهشت 1 خرداد	58	100	3913	17254	4/10
		2050	62	100	4851	18187	4/32
	B1	10 اردیبهشت 1 خرداد	55	96	4215	17701	4/68
		2080	58	95	4194	17171	4/11
		10 اردیبهشت 1 خرداد	54	91	3558	16908	4/55

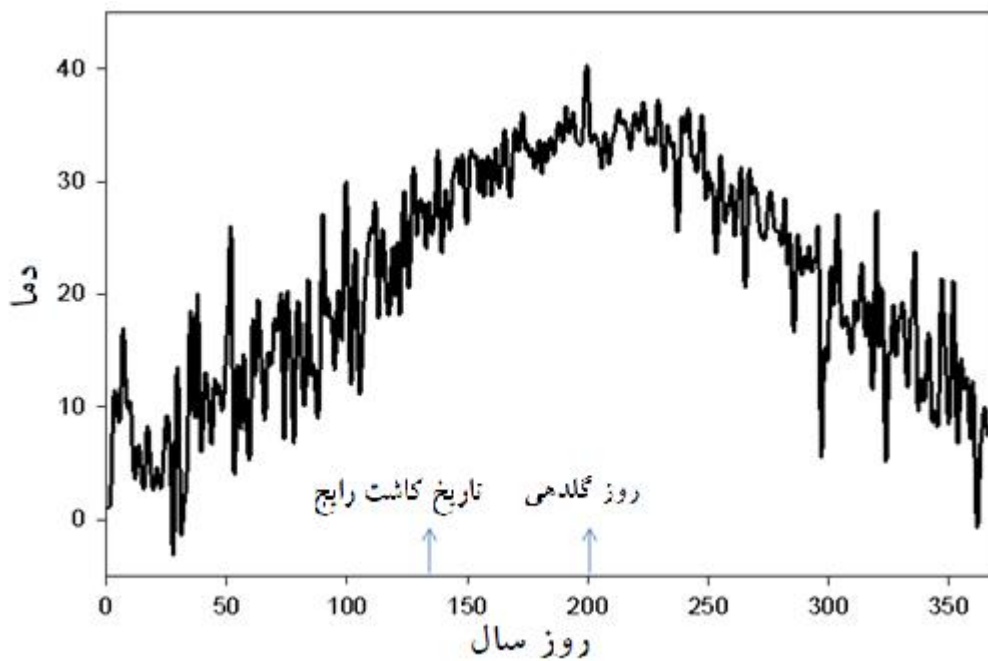
عملکرد دانه

که این مرحله با حداکثر دمای هوا مواجه نشود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که کشت زودتر ذرت باعث عدم انطباق گلدهی ذرت با وقوع حداکثر دما گردیده و اثرات منفی گرما در مرحله حساس گلدهی تعدیل شده و افزایش عملکرد را نسبت به تاریخ کاشت های دیگر باعث می شود. همچنین کشت دیر هنگام ذرت (1 خرداد) نشان داد که در بیشتر موارد کاهش عملکرد افزایش یافته و اثرات منفی تغییر اقلیم تشدید یافته است. بیشترین کاهش عملکرد در تاریخ کاشت 1 خرداد تحت سناریوی A2 از مدل گردش عمومی IPCM4 در سال 2080 پیش بینی شد که باعث کاهش 37/63 درصدی از عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد شبیه سازی شده در سال مبنا گردید (شکل 4). اگر چه در سناریوی B1 در مدل گردش عمومی HadCM3 در سال 2050، کشت دیر هنگام ذرت (1 خرداد) کمترین کاهش عملکرد دانه را در مقایسه با سایر تاریخ های کاشت نشان داد که نسبت به سال مبنا کاهش 13/16 درصدی در عملکرد را شامل شد، درحالیکه این کاهش عملکرد برای تاریخ کشت های 10 و 20 اردیبهشت به ترتیب برابر با 15/03 و 20/5 درصد نسبت به سال مبنا بود (شکل 4).

کمترین کاهش عملکرد دانه مربوط به سناریوی B1 در مدل گردش عمومی IPCM4 در سال 2050 (4708 کیلوگرم در هکتار) و بیشترین کاهش عملکرد دانه تحت سناریوی A2 در مدل گردش عمومی HadCM3 در سال 2080 (3316 کیلوگرم در هکتار) شبیه سازی شد (جدول 5). در اغلب موارد کاشت زود هنگام ذرت باعث کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد گردید، بطوریکه کمترین کاهش عملکرد در تاریخ کاشت 10 اردیبهشت تحت سناریوی B1 در مدل گردش عمومی IPCM4 در سال 2020 به میزان 1/69 درصد کاهش در مقایسه با سال مبنا شبیه سازی شد (شکل 4). کاهش عملکرد ذرت به دلیل افزایش دما و کاهش بارندگی در شرایط تغییر اقلیم آینده گزارش شده است (مال و همکاران 2004). بر اساس شکل 5 مشاهده می شود که در این تاریخ کاشت، دوره گلدهی ذرت (حدود 60 روز پس از کاشت) با حداکثر دمای هوا در طول فصل رشد آن مطابقت داشت. همانطور که قبلا اشاره شد، از آنجاییکه حساسترین مرحله رشد ذرت به گرما، مرحله گلدهی آن می باشد، برای سازگاری ذرت به گرمایش هوا، راهکارهای سازگاری بصورتی در نظر گرفته شد،



شکل 4- میزان تغییر در عملکرد دانه ذرت بوسيله تغییر تاریخ کاشت تحت تاثیر دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 و سناریوهای A1B، A2 و B1 در مشهد برای سه دوره مورد بررسی



شکل 5- روند حداکثر دمای روزانه برای دشت مشهد و زمان تاریخ کاشت رایج و وقوع گلدهی ذرت

منابع مورد استفاده

- کاظم پور س و تاجبخش م، 1381. اثر برخی مواد ضد تعرق بر خصوصیات رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت آباری محدود. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد سی و سوم. صفحه های 205 تا 211.
- کوچکی ع، نصیری محلاتی م، شریفی ح، زند ا و کمالی غ، 1380. شبیه سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد. مجله بیابان. جلد ششم. صفحه های 117 تا 127.
- کوچکی ع و نصیری محلاتی م، 1387. تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO₂ بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. مجله پژوهش های زراعی ایران. جلد ششم. صفحه های 139 تا 153.
- کوچکی ع و کمالی غ ع، 1389. تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران. مجله پژوهش های زراعی ایران. جلد هشتم. صفحه های 508 تا 520.
- کوچکی ع، نصیری محلاتی م، مرادی ر، علی زاده ی، 1391. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و پنبه. مجله پژوهش های زراعی ایران. جلد نهم: در دست چاپ.
- نصیری محلاتی م و کوچکی ع، 1384. اثر تغییر اقلیم بر شاخصهای آگروکلیماتیک مناطق کشت گندم دیم در ایران. مجله پژوهشهای زراعی ایران. جلد سوم. صفحه های 303 تا 291.

نصیری محلاتی م، کوچکی ع، کمالی غ و مرعشی ح، 1385. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص های اقلیمی کشاورزی ایران. مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد بیستم. صفحه های 71 تا 82.

Alexandrov VA and Hoogenboom G, 2000. The impact of climate variability and change crop yield in Bulgaria. *Agric Forest Meteorol* 104: 315–327.

Bindi M and Olesen J, 2000. 'Agriculture', in Parry, M. L. (ed.), *Assessment of Potential Effect and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*, Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, U.K, 324 pp.

Cheng W., Sakai H, Yagi K and Hasegawa T, 2009. Interactions of elevated [CO₂] and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 51 – 58.

Cuculeanu V, Marica A and Simota C, 1999. Climate change impact on agricultural crops and adaptation options in Romania. *Climate Research* 12: 153–160.

Falloon P and Betts R, 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach. *Sci Total Environ* 408: 5667–5687.

IPCC, 2007. Summary for Policy Makers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge.

Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Wilkens PW, Singh U, Gijsman AJ and Ritchie JT, 2003. The DSSAT cropping system model. *Europ J Agronomy* 18: 235-265.

Kapetanaki G and Rosenzweig C, 1997. Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: a simulation study with Ceres-maize. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 1: 251–271.

Khabba S, Ledent JF and Lahrouni A, 2001. Maize ear temperature. *Europ J Agronomy* 14:197–208.

Laux P, Jäckel G, Tingem RM 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. *Agricultural and Forest Meteorology* 150:1258–1271.

Li X, Takahashi T, Suzuki N and Kaiser HM, 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems* 104: 348–353.

Loague K, and Green RE, 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J Contam Hydrol* 7: 51–73.

Mall RK, Lal M, Bhatia VS, Rathore LS and Singh R, 2004. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: a simulation study. *Agric. Forest Meteorol* 121: 113–125.

- Mera RJ, Niyogi D, Buol GS, Wilkerson GG and Semazzi FHM, 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change* 54: 163–182.
- Meza FJ, 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
- Mitchell JFB, John TC, Gregory JM and Tett S, 1995. Climate response to increasing levels of greenhouse gases as sulphate aerosols. *Nature* 376: 501-504.
- Nonhebel S, 1996. Effects of Temperature Rise and Increase in CO₂ Concentration on Simulated Wheat Yields in Europe. *Clim Change* 34: 73–90
- Ogle SM, Breidt FJ and Paustian K, 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem* 72: 87-121.
- Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, Skjelvag AO, Seguin B, Peltonen-Sainio P, Rossi F, Kozyra J and Micale F, 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Europ J Agronomy* 34:96–112.
- Ozkan B, and Akcaoz H, 2002. Impacts of climate factors on yields for selected crops in southern Turkey. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 7: 367–380.
- Powlson DS, Christian DG, Falloon P and Smith P, 2001. Biofuel crops: their potential contribution to decreased fossil carbon emissions and additional environmental benefits. *Aspects Appl Biol* 65: 289–94.
- Prudhomme C, Wilby RL, Crooks S, Kay AL and Reynard NS, 2010. Scenario-neutral approach to climate change impact studies: Application to flood risk. *J Hydro* 390:198–209.
- Reidsma P, Ewert F, Lansink AO and Leemans R, 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. *Europ J Agronomy* 32:91–102
- Rosenzweig C and Tubiello FN, 2007. Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 12: 855–873.
- Semenov MK and Brooks RJ, 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climatic Res* 11: 137–148.
- Shiferaw BA, Okello J and Reddy RV, 2009. Adoption and adaptation of natural resource management innovations in smallholder agriculture: reflections on key lessons and best practices. *Environ Dev Sustain* 11: 601–619.
- Smit B and Skinner MW, 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 7: 85–114.

- Southworth J, Randolph JC, Habeck M, Doering OC, Pfeifer RA, Rao DG and Johnston JJ, 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 139–158.
- Trnka M, Dubrovsky M and Ekzalud Z, 2004. Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Clim Change* 64: 227–255.
- Tubiello FN, Jagtap S, Rosenzweig C, Goldberg R and Jones JW, 2002. Effects of climate change on US crop production from the National Assessment. Simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, Potato, Corn, and Citrus. *Climate Res* 20: 259–270.
- Vergé XPC, De Kimpe C and Desjardins RL, 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agric For Meteorol* 2–4: 255–69.
- Wetterhall F, Bardossy A, Chen D, Halldin S and Ch XU, 2009. Statistical downscaling of daily precipitation over Sweden using GCM output. *Theor. Appl. Climatol* 96: 95-103.
- Wheeler TR, Craufurd P, Ellis R, Porter J and Vara Prasad PV, 2000. Temperature variability and yield of annual crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82: 159–167.