نشریه دانش آب و خاک / جلد 26 شماره 3/1 صفحه‌های 67 تا 79 / سال 1395

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر - تعرق گندم با استفاده از مدل CERES-Wheat (مطالعه موردی: مشهد)

زهرا سعادتی[*1]، معصومه دلبری[2]، مهدی پناهی[3]، ابراهیم امیری[4]، محمدحسین رحیمیان[5]، مسعود قدسی[5]

تاریخ دریافت: 93/10/28 تاریخ پذیرش: 95/03/04

[1-] دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل

[2-] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

[3-] عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج

[4-] دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

[5-] عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zsaadati66@yahoo.com

چکیده

مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی و شاخص‌های اقلیمی کشاورزی می‌تواند موجب بهبود و توسعه راهبردهای مدیریتی در ارتباط با نیازهای مهم کشاورزی در دهه‌های آینده گردد. هدف از این مطالعه، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر- تعرق گندم در منطقه مشهد است. در این مطالعه از مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی ایستگاه مشهد تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 در طی دو دوره 1409-1390 و 1444-1425 استفاده شد. هم‌چنین، برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر- تعرق گندم از مدل CERES-Wheat استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، دما در حال افزایش و بارش در حال کاهش است. در سناریوی A2 شدت افزایش دما و کاهش بارش نسبت به دو سناریوی دیگر بیشتر است. هم‌چنین نتایج حاکی از آن بود که در کلیه ارقام گندم فاصله زمانی کاشت تا رسیدگی کامل در اقلیم آینده کاهش می‌یابد. نسبت به دوره پایه در دوره 1409-1390 افزایش ولی در دوره 1444-1425 کاهش تبخیر- تعرق وجود خواهد داشت. افزایش تبخیر- تعرق در دوره 1409-1390 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 3/51، 1/75 و 3/8 درصد و کاهش تبخیر- تعرق در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 4/09، 4/68 و 4/39 درصد است. به‌طور کلی در اثر تغییر اقلیم در آینده، دوره رشد گیاه و سپس کل نیاز آبی گیاه کاهش خواهد یافت. بنابراین باید از رقم‌های با طول عمر کوتاه‌تر و عملکرد بیشتر استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: افزایش دما، سناریوهای تغییر اقلیم، گندم، مدل‌های شبیه‌سازی، مشهد

Evaluation of the Effects of Climate Change on Wheat Growing Period and Evapotranspiration Using the CERES-Wheat Model (Case Study: Mashhad)

Z Saadati[*1], M Delbari[2], M Panahi[3], E Amiri[4], MH Rahimian[5], M Ghodsi[5]

Received: 18 January 2015 Accepted: 24 May 2016
[1-] Ph.D student of Irrigation and Drainage, Univ. of Zabol, Iran
[2-] Assoc. Prof., Department of Water Engineering, Univ. of Zabol, Iran
[3-] Scientific Member of the Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
[4-] Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Iran
[5-] Scientific Member of Agricultural and Natural Resources Research Khorasan Razavi Province, Iran
[*] Corresponding Author, Email: zsaadati66@yahoo.com

Abstract

Study of the climate change impacts on agricultural products and agro-climatic variables can improve the management strategies regarding to the agricultural demands in future decades. The objective of this study is to evaluate the effects of climate change on growing period and evapotranspiration of wheat in Mashhad. In this study the LARS-WG model was used to simulate the weather data of Mashhad station under A1B, A2 and B1 scenarios in the time periods of 2011-2030 and 2046-2065. The effects of climate change on growing period and evapotranspiration of wheat was simulated by the CERES-Wheat model. The obtained results in this study show that the temperature will be increase however, rainfall is going to be decreased. The temperature and rainfall variations will be sever in the A2 scenario compared with the other scenarios. Also, the results show that the time interval from planting to full maturity of all wheat varieties will decrease in the future. Evapotranspiration will be increased in the period of 2011-2030 while it will be decreased in the period of 2046-2065 compared to the base period. The increase of evapotranspiration in the period of 2011-2030 in A1B, A2 and B1 scenarios will be 3.51, 1.75 and 3.8 percent, respectively and the decrease of evapotranspiration in the period of 2046-2065 in A1B, A2 and B1 scenarios will be 4.09, 4.68 and 4.39 percent, respectively. In general, in effect of climate change, the growing period and then the total water requirement of the crop will decrease in the future. So the cultivars of crop with a shorter lifetime and having the higher yield must be used.

Keywords: Climate change scenarios, Mashhad, Simulation models, Temperature increase, Wheat

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان است. مهم‌ترین عامل بروز تغییر اقلیم، تجمع گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد، در میان گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن مهم‌ترین نقش را ایفا می‌نماید. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و نیز سایر گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب بیشتر تابش طول موج بلند که از زمین گسیل می‌شود، باعث ایجاد تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و به تبع آن تغییر الگوی بارندگی و تابش خورشیدی می‌شود (IPCC 1992،

راولینز 1991، روزنسویگ 1989). افزایش غلظت دی-اکسیدکربن موجب افزایش درجه حرارت هوا به‌میزان 0/6 درجه سلسیوس در قرن بیستم شده و پیش‌بینی شده است که ادامه این روند باعث افزایش درجه حرارت هوا به میزان 1/4 تا 5/8 درجه سلسیوس تا سال 2100 گردد (IPCC 2001). در حال حاضر اقلیم‌شناسان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم، به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوسی می-پردازند (بارو و یو 2005). افزایش غلظت CO_2 به دو طریق بر فرآیندهای گیاه و تولیدات زراعی اثر می‌گذارد. یکی تأثیر مستقیم این گاز بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه است و دیگری تأثیر غیرمستقیم آن از طریق تغییرات دما، بارندگی و تابش می‌باشد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن فتوسنتز را تحریک کرده و از سوی دیگر باعث تغییر هدایت روزنه‌ای شده و کارایی مصرف آب را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد (روزنبرگ و همکاران 1990).

برای مطالعه تأثیر احتمالی تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌های زراعی و بر عملکرد گیاهان زراعی می-توان از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی استفاده کرد (کاری و همکاران 1990، ماتیوز و همکاران 1997، سینکلر و سلیگمن 1995). بسته نرم‌افزاری DSSAT (شامل 28 مدل گیاهی) به‌طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. مدل شبیه‌سازی CERES برای غلات (جونز و کنیری 1986) و مدل‌های CROPGRO (اسدی و کلمنت 2003) در بسته نرم‌افزاری DSSAT توسعه داده شده است. مدل CERES یکی از مدل‌های خاک، گیاه و اتمسفر است که رشد، توسعه و عملکرد غلات را شبیه‌سازی می‌کند (جونز و کنیری 1986). در یک بررسی، مدل شبیه‌ساز CERES[1]-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز بر روی گیاه گندم ارزیابی شد. نتایج این تحقیق مبین توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی و عملکرد گندم تحت این شرایط بود (اندرزیان و همکاران 1387). در تحقیقی دیگر از مدل CERES-Wheat جهت شبیه‌سازی تولید و فنولوژی گندم در ساردینیا[2] جنوبی واقع در ایتالیا استفاده شد. مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و تاریخ گلدهی نتایج خوبی را نشان داد (دتوری و همکاران 2011). هم‌چنین جیان‌کیانگ و همکاران (2013) از مدل CERES-Wheat جهت شبیه-سازی رشد گندم بهاره در زمین‌های تحت کشت آبی در منطقه‌ای واقع در شمال غربی چین استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نیز حاکی از توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم بود. در یک بررسی، اثر تغییر اقلیم بر گندم دوروم در دوره زمانی 2100-2071 میلادی (مطابق با 1479-1450 شمسی) در نواحی شمالی و مرکزی تانزانیا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که کاشت گندم در هر دو منطقه زودتر انجام شده و طول چرخه رشد گندم کاهش می‌یابد (لوم و همکاران 2009). در یک پژوهش، اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان با استفاده از مدل HadCM3 برای سناریوهای A2 و B2 بررسی شد. بر طبق نتایج حاصل از این تحقیق افزایش 18/7% و 22% برای سناریوهای A2 و B2 برای متوسط نیاز آبی گیاه پیش‌بینی گردید (گاندیم و همکاران 2009). در تحقیقی دیگر در زمینه شبیه‌سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد نشان داده شد که تغییر اقلیم باعث 26 روز کاهش در طول دوره رشد گندم در شرایط مشهد خواهد شد (کوچکی و همکاران 1380). نتایج پژوهش شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر روی رشد، عملکرد و مصرف آب نخود تحت شرایط دیم و آبی مراغه با استفاده از مدل CICER نشان داد که در اثر تغییر اقلیم، دوره رشد گیاه در اثر افزایش دما 10 تا 13 درصد کاهش می‌یابد، عملکرد دانه در شرایط دیم 28 تا 45 درصد و در شرایط فاریاب 4- تا 15 درصد تغییر پیدا می‌کند، مصرف آب تا 15 درصد کاهش می‌یابد، در حالی‌که کارآیی مصرف آب در شرایط دیم 39 تا 42 درصد و در شرایط آبی 13 تا 22 درصد افزایش پیدا

[1]. Crop Environment Resource Synthesis

[2]. Sardinia

می‌کند (سلطانی و قلی‌پور 1385). در تحقیقی دیگر تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه در منطقه بهشهر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، طول دوره رشد گیاه بین 4 تا 14 روز کوتاهتر خواهد شد (سلیمانی ننادگانی و همکاران 1391).

با توجه به نقش مهم گندم در تغذیه مردم و نیز اهمیت آن در سیستم‌های زراعی کشور، هدف از این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گیاه و تبخیر- تعرق در منطقه مشهد با استفاده از مدل شبیه-ساز CERES-Wheat و مدل LARS-WG می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت محل آزمایش

پژوهش حاضر بر اساس یک آزمایش مزرعه‌ای انجام شده در منطقه طرق مشهد با عرض جغرافیایی ´16 °36 شمالی و طول جغرافیایی ´38 °59 شرقی و ارتفاع 999/2 متر از سطح دریا، در طی 2 سال زراعی 82-1381 و 83-1382 انجام گرفت. آب و هوای مشهد معتدل و متغیر است و وزش بادها در آن بیشتر از سمت جنوب شرقی به شمال غربی است. از خصوصیات اقلیمی مشهد، کمینه بارندگی سالیانه 130/7 میلی‌متر، بیشینه بارندگی سالیانه 421/7 میلی‌متر، متوسط بارندگی سالیانه 253/4 میلی‌متر، بیشینه دمای مطلق 43/8 درجه سلسیوس، کمینه دمای مطلق 28- درجه سلسیوس و میانگین دمای سالیانه 14 درجه سلسیوس می‌باشد. با توجه به میانگین بارش و دمای سالانه شهر مشهد، بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن این شهر جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌گردد.

عملیات زراعی

طرح به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک-های کاملاً تصادفی در طی دو سال زراعی 82-1381 و 83-1382 با سه تیمار آبیاری شامل I1: آبیاری در چهار مرحله طویل شدن ساقه، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه، I2: آبیاری در سه مرحله طویل شدن ساقه، گلدهی و شیری شدن دانه و I3: آبیاری در دو مرحله طویل شدن ساقه و گلدهی در کرت‌های اصلی و پنج رقم گندم (C_1: C-73-5، C_2: C-78-4، C_3: C-78-8، C_4: C-79-6، C_5: C-79-16) در کرت‌های فرعی در ایستگاه طرق مشهد اجرا شد.

مساحت کرت‌های اصلی 96 مترمربع (با احتساب یک متر فاصله بین کرت‌های فرعی به‌منظور جلوگیری از اثر نفوذ آب در کرت‌های مجاور) و کرت‌های فرعی 14/4 متر مربع بود. میزان بذر بر اساس وزن هزار دانه و به تعداد 450 بذر در مترمربع بود. میزان کودهای شیمیایی مصرفی (ماکرو و میکرو) قبل از کشت بر اساس آزمون خاک و توصیه بخش تحقیقات تغذیه گیاهی با نسبت (50-75-120) کیلوگرم NPK خالص در هکتار تعیین شد. یک سوم کود ازته و تمام کودهای شیمیایی دیگر هنگام کشت و بقیه کود ازته به‌صورت سرک در بهار مصرف شد. در جدول 1 مقادیر حجم آب مصرفی تیمارها در طی دو سال اجرای آزمایش آورده شده است.

اطلاعات خاک محل آزمایش

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول 2 ارائه شده است.

جدول 1- مجموع آب مصرفی (mm) تیمارهای مختلف آبیاری در طی دو سال اجرای طرح.

تیمار آبیاری	سال 82-1381	سال 83-1382	میانگین دو سال
I1	540	614	577
I2	394	385	390
I3	191	208	199

جدول 2- مشخصات خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد.

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	pH	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	نوع بافت	FC (درصد وزنی)	PWP (درصد وزنی)
0-30	1/1	8/1	0/57	0/066	14/4	234	33/6	46	20/4	لوم سیلتی	17/3	7/2
30-60	1/17	8/2	0/55	0/067	14	195	28/6	47	24/4	لوم سیلتی	17/6	8

توصیف مدل DSSAT

برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر- تعرق گندم از مدل DSSAT نسخه 4.5.0.2 استفاده شد. این مدل یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (سلطانی و هوگنبوم 2007). مدل DSSAT از CERES-Wheat و CROPSIM مشتق شده است (جونز و همکاران 2003، هوگنبوم و همکاران 2004). این مدل می‌تواند رشد و نمو و عملکرد گندم را در شرایط دیم و آبی در یک محدوده از عرض جغرافیایی هم در نیمکره شمالی و هم در نیمکره جنوبی شبیه‌سازی نماید (جونز و همکاران 2003). مدل CERES برای پیش‌بینی مراحل نمو گیاه از زمان حرارتی استفاده می‌کند. در همه مدل‌های گروه CERES، پیر شدن برگ با تکامل برگ گیاه پیوستگی دارد. بعد از اینکه پیری تعیین شد، شاخص سطح برگ سبز را می‌توان از کل سطح برگ گیاه حساب کرد. عملکرد نهایی نیز از حاصل‌ضرب تعداد دانه در بوته، وزن تک دانه و تعداد دانه در واحد سطح محاسبه می‌شود (ماهرو- کاشانی 2010).

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل شامل اطلاعات هواشناسی (کمینه و بیشینه دمای هوا، بارش و تعداد ساعات آفتابی یا تابش خورشیدی)، داده‌های خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک، ماده آلی اولیه خاک، اسیدیته و شوری خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در لایه‌های مختلف خاک)، اطلاعات مدیریت زراعی (داده‌های برداشت شده در مزرعه شامل تاریخ کاشت و برداشت، تاریخ‌های مهم فنولوژی گیاه، مشخصات کاشت نظیر عمق و تراکم کاشت، فعالیت‌های مدیریتی نظیر عمق و زمان آبیاری و نوع، زمان و مقدار کود مصرفی و شرایط اولیه خاک از نظر مقادیر نیتروژن و رطوبت موجود، نوع واریته کشت شده و تیمارهای شبیه‌سازی) و اطلاعات رقم زراعی شامل پارامترهای ژنتیکی مثل تأثیر بهاره‌سازی (P1V) و فتوپریود (P1D) بر نمو، طول دوره پر شدن دانه (P5)، فیلوکرون (PHINT) و پارامترهای مربوط به رشد دانه G1، G2 و G3 می‌باشد (جدول 3).

جدول 3- علایم اختصاری و تعاریف هر یک از ضرایب ژنتیکی مربوط به گندم در مدل DSSAT.

ضرایب	توضیح ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT
P1V	تأخیر نسبی در سرعت نمو برای هر روز بهاره‌سازی انجام نشده
P1D	مقدار نسبی کاهش سرعت نمو برای فتوپریود کوتاه‌تر از حالت مطلوب (20 ساعت)
P5	طول دوره خطی پر شدن دانه بر حسب درجه روز
G1	تعداد دانه در هر واحد وزن جامعه گیاهی در واحد سطح در گرده‌افشانی بر حسب تعداد در گرم
G2	سرعت بالقوه رشد دانه بر حسب میلی‌گرم در روز
G3	وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد، هنگامی‌که رشد ساقه متوقف می‌شود، شامل پهنک و غلاف برگ به‌علاوه خوشه بر حسب گرم
PHINT	زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی بر حسب درجه روز

توصیف مدل LARS-WG

در این مطالعه از مدل LARS-WG برای شبیه-سازی داده‌های هواشناسی منطقه مشهد تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 در طی دو دوره 1409-1390 و 1444-1425 استفاده شد. سناریوی بدبینانه A1B ترسیم کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است به‌طوری‌که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهشی خواهد بود. هم‌چنین رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر بر اساس این سناریو در دوره‌های آتی رخ خواهد داد. سناریوی A2 که مبین رشد سریع جمعیت جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف بوده و بنابراین، تغییر اقلیم متوسطی برای دوره‌های پیش‌رو را ترسیم می‌کند. بر طبق سناریوی خوشبینانه B1 نیز در دهه‌های آتی همگرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت (IPCC 2007).

مدل LARS-WG5 از سه بخش اصلی شامل واسنجی، ارزیابی و تولید (یا شبیه‌سازی) داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده تشکیل شده است. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تشعشع ایستگاه مشهد با در نظر گرفتن یک دوره 60 ساله (1389-1330) به‌عنوان دوره پایه، تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا شد. در مرحله بعد، با استفاده از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد (RMSEn)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) در محیط نرم‌افزار اکسل اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره پایه و مقایسه آن‌ها با داده‌های واقعی مشاهده شده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}} \quad [1]$$

$$RMSEn = \frac{RMSE*100}{MO} \quad [2]$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y})^2} \quad [3]$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)}{n} \quad [4]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i|}{n} \quad [5]$$

که در آن‌ها، X_i و Y_i به‌ترتیب iامین مقدار واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل، $\overline{X}$ و $\overline{Y}$ میانگین کل مقادیر X_i و Y_i در جامعه آماری، n نشان-دهنده ماه‌های سال و MO میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشند. پس از اطمینان از درستی نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره آینده گردید. نیاز اساسی مدل برای اجرای این مرحله، دو فایل با پسوند WG و Sce است. فایل اول داده‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه می‌باشد و فایل دوم از خروجی یکی از مدل‌های گردش عمومی جو در دوره مشابه با دوره پایه به‌دست می‌آید. در این پژوهش، از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 که یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی- جوی است و توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده، به‌عنوان فایل Sce استفاده شد. قدرت تفکیک جوی مدل HadCM3، شبکه‌ای با ابعاد 2/5 درجه عرض جغرافیایی و 3/75 درجه طول جغرافیایی است (گوردون و همکاران 2000).

نتایج و بحث

نتایج واسنجی و ارزیابی مدل CERES-Wheat

مدل CERES-Wheat با استفاده از داده‌های اندازه-گیری شده برای سال زراعی 82-1381 واسنجی شد. در این تحقیق ضرایب ژنتیکی گندم با سعی و خطا و هم‌چنین با توجه به حدودی که برای این ضرایب در مناطق مختلف جهان بدست آورده‌اند (دتوری و همکاران 2011، نورزر و همکاران 2011، جیان‌کیانگ و همکاران 2013)، تعیین شد به‌نحوی که بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه-سازی شده مدل کمینه اختلاف وجود داشته باشد (جدول 4).

جدول 4- ضرایب ژنتیکی واسنجی شده مدل CERES-Wheat.

رقم	ضرایب ژنتیکی واسنجی شده						
	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
C-73-5	60	95	310	30	41	1/5	90
C-78-4	60	95	320	30	38	1/5	90
C-78-8	60	90	320	30	46	1/5	90
C-79-6	60	80	330	30	41	1/5	90
C-79-16	60	95	340	25	38	1/5	90

جدول 5- مقادیر RMSE و RMSEn برای نتایج شبیه‌سازی عملکرد گندم.

	1381-82		1382-83	
	RMSE (kg ha^{-1})	RMSEn (%)	RMSE (kg ha^{-1})	RMSEn (%)
عملکرد دانه	376	7	541	10

با توجه به نتایج، مقدار خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی عملکرد در سال زراعی 82-1381 بین 11- تا 9 درصد و در سال زراعی 83-1382 بین 21- تا 13 درصد به‌دست آمد. در تحقیقی در زمینه شبیه‌سازی رشد و نمو جو و گندم با استفاده از سه مدل SWAP، CERES و WOFOST، مقدار خطا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد در مدل CERES برای گیاه جو برای سه نوع خاک بین 45/4- تا 69/2 درصد و برای گیاه گندم بین 2/6- تا 16/7 درصد بدست آمد (ایزینگر و همکاران 2004). در تحقیقی دیگر در رابطه با شبیه‌سازی رشد گندم بهاره با استفاده از مدل CERES-Wheat، مقدار خطا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد بین 8/17- تا 4/75 درصد بدست آمد (جیان‌کیانگ و همکاران 2013). مقایسه این نتایج با مقادیر به‌دست آمده در این پژوهش برای گندم نشان می‌دهد که مدل CERES-Wheat توانسته عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه را نیز به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. نتایج عوامل آماری مربوط به عملکرد که برای ارزیابی مدل CERES-Wheat استفاده شده‌اند، در جدول 5 ارائه شده است. بر اساس شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد، مدل CERES-Wheat عملکرد دانه در سال زراعی 82-1381 را با 7± درصد و در سال زراعی 83-1382 با 10± درصد نسبت به عملکرد دانه مشاهده شده، شبیه‌سازی کرد (جدول 5). چون مقدار ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد کمتر از 10 درصد بوده شبیه‌سازی به‌خوبی انجام گرفته است. هم‌چنین، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا محاسبه شده برای عملکرد دانه در سال زراعی 82-1381 معادل 376 کیلوگرم در هکتار و در سال زراعی 83-1382 معادل 541 کیلوگرم در هکتار است که در هر دو سال زراعی کمتر از 10 درصد مقدار میانگین مشاهده شده (554 کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. این نتایج حاکی از توانایی خوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

ارزیابی مدل LARS-WG

نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه 1389-1330 در جدول 6 نشان داده شده است. مقدار ضریب تبیین در مورد همه متغیرها بالا به‌دست آمد. شاخص‌های خطاسنجی از جمله میانگین خطای مطلق، میانگین انحراف خطا و ریشه میانگین مربعات خطا نیز کوچک به‌دست آمدند. مقادیر کوچک‌تر این شاخص‌ها بیان‌گر وجود اختلاف‌های کم‌تر (اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در طول دوره آماری) در تولید داده توسط مدل است. به‌طور

کلی نتایج نشان داد که عملکرد مدل LARS-WG در مدل-سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه تحت بررسی مناسب است و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و شبیه‌سازی داده‌ها در دوره آینده بهره جست.

جدول 6- ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه 1389-1330 با استفاده از آماره‌های واسنجی.

متغیر	بیشینه دما (°C)	کمینه دما (°C)	تشعشع ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$)	بارندگی (mm)
R^2	0/99	0/99	0/99	0/98
RMSE	0/13	0/12	0/09	1/56
RMSEn	1	2	1	8
MBE	-0/03	-0/13	-0/11	1/26
MAE	0/38	0/33	0/24	3/76

جدول 7- اختلاف میانگین ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش و تشعشع دوره 1409-1390 و 1444-1425 نسبت به دوره پایه.

سناریوهای تغییر اقلیم	بیشینه دما (°C)		اختلاف (°C)	کمینه دما (°C)		اختلاف (°C)	بارندگی (mm)		اختلاف (mm)	تشعشع ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$)		اختلاف ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$)
	پایه	1390-1409		پایه	1390-1409		پایه	1390-1409		پایه	1390-1409	
A1B	21/24	22/07	0/83	7/33	8/26	0/92	20/92	22/11	1/19	16/10	16/06	-0/04
A2	21/24	22/36	1/12	7/33	8/55	1/21	20/92	21/7	0/78	16/10	16/06	-0/04
B1	21/24	22/03	0/79	7/33	8/22	0/89	20/92	22/74	1/82	16/10	16/11	0/01
	پایه	1425-1444		پایه	1425-1444		پایه	1425-1444		پایه	1425-1444	
A1B	21/24	23/69	2/45	7/33	9/94	2/61	20/92	19/54	-1/39	16/10	16/26	0/16
A2	21/24	23/76	2/52	7/33	9/95	2/62	20/92	21/21	0/29	16/10	16/05	-0/05
B1	21/24	23/34	2/1	7/33	9/53	2/19	20/92	19/19	-1/74	16/10	16/12	0/02

تغییرات پارامترهای هواشناسی در دوره‌های آینده

با توجه به جدول 7 در ایستگاه مشهد در دوره آماری 1409-1390 در مقایسه با دوره 1389-1330 میانگین ماهانه دمای بیشینه به میزان 0/83، 1/12 و 0/79 درجه سلسیوس، میانگین ماهانه دمای کمینه به میزان 0/92، 1/21 و 0/89 درجه سلسیوس و میانگین ماهانه بارش به میزان 1/19، 0/78 و 1/82 میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش خواهند یافت. هم‌چنین، میزان انرژی تابشی 0/04 مگاژول بر مترمربع در روز در سناریوهای A1B و A2 کاهش و 0/01 مگاژول بر متر مربع در روز در سناریوی B1 نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. در دوره آماری 1444-1425 نیز در مقایسه با دوره 1389-1330 میانگین ماهانه دمای بیشینه به میزان 2/45، 2/52 و 2/1 درجه سلسیوس و میانگین ماهانه دمای کمینه به میزان 2/61، 2/62 و 2/19 درجه سلسیوس به‌ترتیب، در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش خواهند یافت. هم‌چنین، در طی این دوره، میزان کاهش بارندگی 1/39 و 1/74 میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B و B1 و میزان کاهش تشعشع 0/05 مگاژول بر مترمربع در روز در سناریوی A2 و میزان افزایش بارندگی 0/29 میلی‌متر در سناریوی A2 و میزان افزایش تشعشع 0/16 و 0/02 مگاژول بر مترمربع در روز به‌ترتیب در سناریوهای A1B و B1 پیش‌بینی می-شود.

جدول 8- طول دوره گلدهی گندم در دوره پایه 1389-1330 و دوره‌های آینده 1409-1390 و 1444-1425 در تیمارهای مختلف.

رقم	آبیاری	گلدهی (روز پس از کاشت) 1330-1389	گلدهی (روز پس از کاشت) 1390-1409			گلدهی (روز پس از کاشت) 1425-1444		
			SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
C-73-5	I1	226	223	222	223	216	215	218
C-78-4	I1	226	223	222	223	216	215	218
C-78-8	I1	225	221	220	221	214	213	216
C-79-6	I1	222	218	217	218	211	210	213
C-79-16	I1	226	223	222	223	216	215	218
C-73-5	I2	226	223	222	223	216	215	218
C-78-4	I2	226	223	222	223	216	215	218
C-78-8	I2	225	221	220	221	214	213	216
C-79-6	I2	222	218	217	218	211	210	213
C-79-16	I2	226	223	222	223	216	215	218
C-73-5	I3	226	223	222	223	216	215	218
C-78-4	I3	226	223	222	223	216	215	218
C-78-8	I3	225	221	220	221	214	213	216
C-79-6	I3	222	218	217	218	211	210	213
C-79-16	I3	226	223	222	223	216	215	218
متوسط		225	221	221	221	215	214	216

SR: سناریو

اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد گیاه گندم

در جداول 8 و 9 طول دوره گلدهی و رسیدگی در دوره پایه 1389-1330 و دوره آینده در تیمارهای مختلف ارائه شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی در کلیه ارقام گندم فاصله زمانی کاشت تا رسیدگی کامل در اقلیم آینده کاهش می‌یابد. متوسط دوره گلدهی در دوره پایه 225 روز، در دوره 1409-1390 در هر سه سناریو 221 روز و در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 215، 214 و 216 روز به‌دست آمد. متوسط دوره رسیدگی در دوره پایه 249 روز، در دوره 1409-1390 در هر سه سناریو 245 روز و در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 238، 237 و 239 روز به‌دست آمد. کاهش طول دوره گلدهی و رسیدگی در دوره 1444-1425 بیشتر از دوره 1409-1390 بوده است.

کاهش طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم در بسیاری از گزارشات به تأیید رسیده است. در تحقیقی در زمینه ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر گندم دوروم در دوره آماری 2100-2071 میلادی (مطابق با 1479-1450 شمسی) در نواحی شمالی و مرکزی تانزانیا نشان داده شد که طول چرخه رشد گندم کاهش می‌یابد (لوم و همکاران 2009). هم‌چنین، در تحقیقی دیگر بر روی شبیه-سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد نشان داده شد که تغییر اقلیم از طریق افزایش درجه حرارت باعث 26 روز کاهش در طول دوره رشد گندم خواهد شد (کوچکی و همکاران 1380). در تحقیقی دیگر مشاهده شد که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، طول دوره رشد گندم زمستانه در منطقه بهشهر بین 4 تا 14 روز کوتاه‌تر خواهد شد (سلیمانی ننادگانی و همکاران 1391).

جدول 9- طول دوره رسیدگی در دوره پایه 1389-1330 و دوره‌های آینده 1409-1390 و 1444-1425 در تیمارهای مختلف.

رقم	آبیاری	رسیدگی (روز پس از کاشت) 1330-1389	رسیدگی (روز پس از کاشت) 1390-1409			رسیدگی (روز پس از کاشت) 1425-1444		
			SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
C-73-5	I1	249	245	245	246	238	238	240
C-78-4	I1	250	246	246	246	239	238	240
C-78-8	I1	249	245	244	245	237	237	239
C-79-6	I1	247	242	242	243	235	234	236
C-79-16	I1	251	247	247	247	239	239	241
C-73-5	I2	249	245	245	246	238	238	240
C-78-4	I2	250	246	246	246	239	238	240
C-78-8	I2	249	245	244	245	237	237	239
C-79-6	I2	247	242	242	243	235	234	236
C-79-16	I2	251	247	247	247	239	239	241
C-73-5	I3	249	245	245	246	238	238	240
C-78-4	I3	250	246	246	246	239	238	240
C-78-8	I3	249	245	244	245	237	237	239
C-79-6	I3	247	242	242	243	235	234	236
C-79-16	I3	251	247	247	247	239	239	241
متوسط		249	245	245	245	238	237	239

SR: سناریو

اثر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق

متوسط تبخیر- تعرق در دوره پایه 1389-1330 و دوره آینده در تیمارهای مختلف در جدول 10 ارائه شده است. مقدار تبخیر- تعرق در دوره 1409-1390 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 12، 6 و 13 میلی‌متر افزایش و در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 14، 16 و 15 میلی‌متر کاهش نشان داده است. افزایش تبخیر- تعرق در دوره 1409-1390 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 3/51، 1/75 و 3/8 درصد و کاهش تبخیر- تعرق در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 4/09، 4/68 و 4/39 درصد است. نتایج تحقیق بابائیان و کوهی (1391) نشان داد که تبخیر- تعرق در انتهای قرن حاضر نسبت به دوره پایه 1990-1961 در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت حیدریه به‌ترتیب 13/4، 14/2 و 9/3 درصد افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی مقایسه نتایج شبیه‌سازی تبخیر- تعرق ارقام گندم تحت بررسی در دوره پایه و دوره آینده نشان‌دهنده کاهش تبخیر- تعرق در دوره 1444-1425 و در واقع کاهش نیاز آبی گندم است. با وجودی که افزایش درجه حرارت در دوره آینده نیاز به تبخیر را افزایش خواهد داد ولی گزارشات مختلف نشان داده است که افزایش غلظت CO_2 موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای و به دنبال آن کاهش تعرق می‌شود (سانیت و همکاران 1980، کیور و آکوک 1986). این پدیده همراه با کوتاه‌تر شدن طول دوره رویش گندم در نهایت باعث کاهش آب مصرفی گندم در طی فصل شده است. بررسی آزمایش‌های متفاوت روی گیاهان مختلف توسط آلن (1990) و کیمبال و ایدسو (1983) نشان داده است که بر اثر دو برابر شدن غلظت CO_2، تعرق به‌میزان 34 درصد کاهش خواهد یافت که ناشی از کاهش هدایت

روزنه‌ای است. در نتیجه کارآیی مصرف آب نیز بیشتر می‌شود. در تحقیقی مشاهده شد که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، اگر چه تبخیر- تعرق روزانه گیاه گندم در طول فصل رشد افزایش می‌یابد اما در مجموع کل فصل رشد گیاه، به‌دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشد تبخیر- تعرق کاهش خواهد یافت (سلیمانی ننادگانی و همکاران 1391). تأثیر نهایی افزایش غلظت CO_2 و تغییرات آب و هوایی همراه با آن بر گیاهان زراعی کاملاً به شرایط محیطی جاری در محل مورد نظر بستگی دارد و ممکن است از محلی به محل دیگر متفاوت باشد.

جدول 10- متوسط تبخیر- تعرق در طول دوره رشد گندم در دوره پایه 1389-1330 و دوره‌های آینده 1409-1390 و 1444-1425 در تیمارهای مختلف.

رقم	آبیاری	متوسط تبخیر- تعرق (mm) 1389-1330	متوسط تبخیر- تعرق (mm) 1409-1390			متوسط تبخیر- تعرق (mm) 1444-1425		
			SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
C-73-5	I1	365	372	366	374	336	334	335
C-78-4	I1	367	374	368	375	338	335	337
C-78-8	I1	362	368	361	369	332	330	331
C-79-6	I1	356	357	349	358	320	316	322
C-79-16	I1	370	377	372	378	341	338	340
C-73-5	I2	351	365	359	366	336	334	335
C-78-4	I2	353	366	361	367	338	335	337
C-78-8	I2	350	362	355	363	332	330	331
C-79-6	I2	345	355	347	355	320	316	322
C-79-16	I2	354	369	364	370	341	338	340
C-73-5	I3	311	328	324	330	319	319	314
C-78-4	I3	312	332	324	331	320	319	314
C-78-8	I3	311	328	323	330	318	318	313
C-79-6	I3	310	326	321	327	314	313	311
C-79-16	I3	312	328	324	331	321	320	315
متوسط		342	354	348	355	328	326	327

SR: سناریو

جدول 11- مقایسه سناریوهای مختلف دوره 1409-1390 و 1444-1425 نسبت به دوره پایه.

دوره	سناریو	طول دوره گلدهی (روز پس از کاشت)	طول دوره رسیدگی (روز پس از کاشت)	تبخیر- تعرق (mm)
1390-1409	پایه	225	249	342
	A1B	221	245	354
	A2	220/76	244/6	348
	B1	221	245	355
1425-1444	پایه	225	249	342
	A1B	215	238	328
	A2	214	237	326
	B1	216	239	327

مقایسه سناریوهای مختلف دوره 1409-1390 و 1444-1425 نسبت به دوره پایه در جدول 11 ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در هر دو دوره 1409-1390 و 1444-1425، سناریوی A2 نسبت به دو سناریوی دیگر دارای بیشترین کاهش طول دوره رشد و بیشترین کاهش تبخیر- تعرق است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تأثیرگذاری متغیرهای اقلیمی بر رشد و تولید گیاهان زراعی، در این تحقیق اثرات تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و تبخیر- تعرق گندم با استفاده از مدل‌های CERES-Wheat و LARS-WG تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در منطقه مشهد مورد بررسی قرار گرفت. دوره پایه 1389-1330 و دوره مدل‌سازی آینده 1409-1390 و 1444-1425 در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه دما در حال افزایش و بارش در حال کاهش است. در سناریوی A2 نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش دما و کاهش بارش بیشتر است. بین دو سناریوی دیگر A1B نسبت به B1 دارای افزایش دما و کاهش بارش بیشتری است. هم‌چنین، نتایج حاکی از آن بود که در کلیه ارقام گندم فاصله زمانی کاشت تا رسیدگی کامل در اقلیم آینده کاهش می‌یابد. کاهش طول دوره گلدهی در دوره 1409-1390 در هر سه سناریو 1/78 درصد و در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 4/44، 4/89 و 4 درصد و کاهش دوره رسیدگی در دوره 1409-1390 در هر سه سناریو 1/61 درصد و در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 4/42، 4/82 و 4/02 درصد به‌دست آمد. کاهش طول دوره گلدهی و رسیدگی در دوره 1444-1425 بیشتر از دوره 1409-1390 بوده است. در دوره 1409-1390 نسبت به دوره پایه افزایش تبخیر- تعرق ولی در دوره 1444-1425 نسبت به دوره پایه کاهش تبخیر- تعرق مشاهده شده است. افزایش تبخیر- تعرق در دوره 1409-1390 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 3/51، 1/75 و 3/8 درصد و کاهش تبخیر- تعرق در دوره 1444-1425 در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب 4/09، 4/68 و 4/39 درصد است. با توجه به اینکه، کوتاه شدن دوره رشد باعث کمتر شدن نیاز آبی کل فصل گیاه و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود، بنابراین، بهتر است از این کوتاه شدن دوره رشد استفاده بهینه به‌عمل آید، به‌عنوان مثال، از رقم‌های با طول عمر کوتاه‌تر در عین حال با عملکرد بیشتر استفاده شود.

منابع مورد استفاده

اندرزیان ب، بخشنده ع، بنایان م و امام ی، 1387. ارزیابی مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد 6، شماره 1، صفحه‌های 11 تا 22.

بابائیان ا و کوهی م، 1391. ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 26، شماره 4، صفحه‌های 953 تا 967.

سلطانی ا و قلی‌پور م، 1385. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال 13، شماره 2، صفحه‌های 69 تا 79.

سلیمانی نادگانی م، پارسی نژاد م، عراقی نژاد ش و مساح بوانی ع، 1391. بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی: بهشهر). مجله پژوهش آب ایران، سال 6، شماره 10، صفحه‌های 11 تا 20.

کوچکی ع، نصیری محلاتی م، شریفی حر، زند ا و کمالی غع، 1380. شبیه‌سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد. مجله پژوهشی بیابان، جلد 6، شماره 2، صفحه‌های 117 تا 127.

ماهرو کاشانی اح، 1389. شبیه‌سازی رشد و نمو گندم با استفاده از مدل DSSAT در شرایط محیطی استان گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، 105 صفحه.

Allen LH, 1990. Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. Journal of Environmental Quality 19: 15-34.

Asadi ME and Clemente RS, 2003. Evaluation of CERES-Maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. Journal of Food, Agriculture & Environment (JFAE) 1(3&4): 270-276.

Barrow E and Yu G, 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the prairie. Adaptation Research Climate Research Services.

Cure JD and Acock B, 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. Agricultural and Forest Meteorology 38: 127-145.

Curry RB, Peart RM, Jones JW, Boote KJ and Allen LH, 1990. Simulation as a tool for analyzing crop response to climate change. Transactions of the ASAE 33(3): 981-990.

Dettori M, Cesaraccio C, Motroni A, Spano D and Duce P, 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. Field Crops Research 120: 179–188.

Eitzinger J, Trnka M, Hosch J, Zalud Z and Dubrovsk M, 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modeling 171: 223-246.

Gondim R, Castro MA, Maia A and Evangelista S, 2009. Climate change and irrigation water requirement at Jaguaribe river basin, semi-arid northeast of Brazil. IOP Conf. Series, Earth and Environmental Science 6(29): 292032.

Gordon C, Cooper C, Seinor CA, Banks H, Gregory JM, Johns TG, Mitchell JFB and Wood RA, 2000. The simulation of SST, seas ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. Climate Dynamics 16: 147-168.

Hoogenboom G, Jones JW, Porter CH, Wilkens PW, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA and Tsuji GY, 2004. DSSAT 4., Overview, vol. 1. ICASA, Uni. Hawaii, Honolulu, USA.

IPCC, 1992. IPCC first report on climate change: The 1990 and 1992 IPCC assessment. WMO, Rome, Italy, 168p.

IPCC, 2001. Summary for policy makers Climate change. The scientific basis. Contribution of working group I to the Third assessment report. Cambridge University Press, England.

IPCC, 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press, England, 881p.

Jianqiang He, Huanjie Cai and Jiangping Bai, 2013. Irrigation scheduling based on CERES-Wheat model for spring wheat production in the Minqin Oasis in Northwest China. Agricultural Water Management 128: 19– 31.

Jones CA and Kiniry JR, 1986. CERES–Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development, Texas A&M Press: College Station, Texas, 194p.

Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Wilkens P W, Singh U, Gijsman AJ and Ritchie JT, 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy 18: 235–265.

Kimball BA and Idso SB, 1983. Increasing atmospheric carbon dioxide: Effects on crop yield, water use and climate. Agricultural Water Management 7: 55-72.

Knorzer H, Grozinger H, Graeff-Honninger S, Hartung k, Piepho HP and Claupein W, 2011. Integrating a simple shading algorithm into CERES-wheat and CERES-maize with particular regard to a changing microclimate within a relay-intercropping system. Field Crops Research 121: 274-285.

Lhomme JP, Mougou R and Mansour M, 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. Journal of Climatic Change 96(4): 549-564.

Matthews RB, Kropff MJ, Horie T and Bachelet D, 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. Agricultural Systems 54(3): 399-425.

Rawlins SL, 1991. Global environmental change and agriculture. Journal of Production Agriculture 4: 291-293.

Rosenberg NJ, Kimball BA, Martin P and Cooper CF, 1990. From Climate and CO_2 Enrichment to Evapotranspiration. Climate Change and U.S. Water Resources, 286p.

Rosenzweig C, 1989. Global climate change: Predictions and observations. American Journal of Agricultural Economics 71(5): 1265-1271.

Sinclair TR and Seligman NG, 1995. Global environment change and simulated forage quality of wheat. I: No stressed conditions. Field Crops Research 40(1): 19-27.

Sionit N, Hellmers H and Strain BR, 1980. Growth and yield of wheat under CO_2 enrichment and water stress. Crop Science 20: 456-458.

Soltani A and Hoogenboom G, 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research 103(3): 198-207.