

تأثیر افزایش دما و غلظت CO₂ ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در استان خوزستان: یک بررسی همانندسازی

شبنم فرشادی^۱، رضا دهبیمفرد^{۲*}، امید نوری^۳ و جعفر کامبوزیا^۴

۱، ۲، ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۳)

چکیده

این تحقیق با استفاده از مدل‌های گردش عمومی با هدف پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم آینده بر عملکرد گندم در هفت شهرستان استان خوزستان انجام شده است. به همین منظور، از مدل گردش عمومی HadCM3 با سه سناریوی انتشار (A2، A1B و B1) طی سه دوره زمانی آینده استفاده شد. برای تولید فراسنج (پارامترهای اقلیمی روزانه از برنامه LARS-WG استفاده شد. از مدل APSIM-Wheat نیز به منظور همانندسازی رشد و نمو گندم در شرایط اقلیم استفاده شد. نتایج نشان داد، بیشترین افزایش دما نسبت به دوره پایه مربوط به شهرستان اهواز و کمترین افزایش دما در مقایسه با دوره پایه در شهرستان ایذه خواهد بود. در بین همه مناطق مورد بررسی، عملکرد دانه، زیست توده و شاخص سطح برگ گندم در آینده استان خوزستان روند افزایشی و طول فصل رشد در این مناطق روند کاهشی خواهد داشت. در این بررسی بیشترین عملکرد دانه گندم در شرایط تغییر اقلیم آینده در شهرستان ایذه و رامهرمز (به ترتیب ۷۶۹۱ و ۶۵۹۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد، روند عملکرد دانه گندم در استان خوزستان در آینده افزایشی خواهد بود و این افزایش به‌طور عمده ناشی از افزایش شاخص سطح برگ (که همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشت) است. دیگر صفات مورد بررسی مانند طول فصل رشد در مقایسه با شاخص سطح برگ، تأثیر بسیار کمتری بر افزایش عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم در استان خوزستان داشت. همچنین مناطقی با دمای کمتر در دوره پایه (مانند ایذه) در آینده عملکرد دانه بیشتری خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، مدل‌های گردش عمومی، APSIM، LARS-WG.

Impacts of increasing CO₂ and temperature due to climate change on wheat yield in Khuzestan province: A simulation study

Shabnam Farshadi¹, Reza Deihimfard^{2*}, Omid Noori³ and Jafar Kambouzia⁴

1, 2, 3. Former M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran

(Received: Nov. 4, 2015 - Accepted: Jan. 22, 2016)

ABSTRACT

The current study was implemented by using general circulation models (GCMs) aiming at predicting the future climate change as well as its impacts on wheat yield in seven locations of Khuzestan province including Ahwaz, Dezful, Ezeh, Behbahan, Bandar Mahshahr, Ramhormoz and Omidiye. Accordingly, general circulation model of HadCM3 (United Kingdom Met Office Hadley) under three emission scenarios (B1, A1B and A2) for three time periods (2011-30, 2046-65, 2080-2099) were investigated. LARS-WG software was used to generate daily climate parameters. The outputs of LARS-WG were used as inputs for APSIM crop simulation model to simulate growth and development of wheat under future climate change. According to the results obtained, the future minimum and maximum temperatures in Khuzestan will have increasing trend. Simulation results also showed that grain yield, biomass yield and leaf area index (LAI) substantially increased in all locations under future climate compared with the baseline period. Compared to the baseline, the highest wheat grain yield in the future would be obtained in Izeh and Ramhormoz (7691 and 6596 kg ha⁻¹, respectively). Overall, it is concluded that over the coming decades, the wheat grain yield in Khuzestan province will have increasing trend largely due to an increase in LAI (which is highly correlated with grain yield). Other growth characteristics such as length of growing season had less impact on grain yield compared with the LAI under climate change in all study locations. Also, locations with cooler temperature in the baseline (i.e. Izeh) will produce higher grain yield in the future.

Keywords: APSIM, general circulation models, LARS-WG, modelling.

* Corresponding author E-mail: deihimfard@gmail.com; deihim@sbu.ac.ir

مقدمه

تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشر به‌ویژه سوزاندن زغال‌سنگ، نفت و پسماندهای کشاورزی باعث افزایش میزان CO₂ و گازهای گلخانه‌ای جو در سال‌های اخیر شده و آسیب و زیان‌های برگشت‌ناپذیری را به کره زمین وارد آورده است. در سال‌های آینده، افزایش انتشار سالانه CO₂ در جهان پرهیزناپذیر است. مصرف سوخت‌های فسیلی از یک سو و تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز CO₂ در چند دهه اخیر شده به‌گونه‌ای که غلظت این گاز در سال ۲۰۱۱ به ۳۹۰ قسمت در میلیون رسیده است (IPCC, 2014). افزایش غلظت CO₂، بیشترین سهم را در گرمایش جهانی دارد و به‌تنهایی باعث افزایش عملکرد در اغلب گیاهان زراعی خواهد شد. با این‌وجود به نظر می‌رسد افزایش دما و کاهش میزان بارندگی، تأثیر سودمند افزایش CO₂ را خنثی می‌کند (Koocheki et al., 2001).

در همین راستا بررسی‌های گوناگونی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم (افزایش دما و غلظت CO₂) بر عملکرد گندم به انجام رسیده است. Ozdogan (2011) در تحقیق خود، تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در شمال غربی ترکیه را ارزیابی کرد. در این تحقیق پیش‌بینی شد که در شرایط افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفری بدون در نظر گرفتن تغییرپذیری دیگر عامل‌های اقلیمی، تأثیر مثبت و البته ناچیزی را بر عملکرد گیاه دارد، اگرچه این تأثیر مثبت نمی‌تواند نقش تغییر دما و بارندگی را در کاهش عملکرد گیاه خنثی سازد. در چنین شرایطی پیش‌بینی شد که عملکرد گندم زمستانه بین ۵ تا ۳۵ درصد (بنابر داده‌های ورودی به مدل) کاهش داشته باشد (Ozdogan, 2011). در تحقیقی دیگر نیز پژوهشگران تأثیر تغییر اقلیم را بر تولید گندم زمستانه در مناطق اصلی تولید گندم چین ارزیابی کردند. نتایج آنان نشان داد، عملکرد گندم در مناطق شمال چین در آینده کاهش می‌یابد در حالی که عملکرد در مناطق جنوبی افزایش نشان داد. همچنین در شرایط آبیاری کامل عملکرد گندم تا حدودی در بین همه مناطق تولید، افزایش یافت (Lv et al., 2013). در یک بررسی

دیگر نیز تأثیر بالقوه تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران بررسی شد. نتایج این ارزیابی نشان داد، عملکرد گندم به‌طور متوسط در همه مناطق در دوره‌های مورد بررسی (۲۰۲۵ و ۲۰۵۰) به ترتیب (۲۰ و ۲۷ درصد) کاهش می‌یابد (Nassiri et al., 2006).

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم ابزار متنوعی برای اندازه‌گیری تأثیر تغییر اقلیم توسعه یافته‌اند. یکی از راه‌های کم‌هزینه و سریع استفاده از رهیافت مدل‌سازی است (Koocheki et al., 2001). کاربرد مدل‌های ریاضی برای برآورد رشد گیاهان به‌صورت تابعی از متغیرهای محیطی، از چندین دهه پیش آغاز شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به بیان رشد زیست‌توده (بیوماس) یک گیاه به‌عنوان تابعی از تابش نور دریافت‌شده توسط گیاه اشاره کرد (Warren Wilson, 1967). در بررسی که در شمال شرق ایران در شرایط تغییر اقلیم با دو مدل اقلیمی HadCM3 و CGCM2 با دو سناریوی A2 و B2 صورت گرفت نتایج نشان داد، بین عملکرد دانه گندم و بارندگی ارتباط مثبت و قابل‌توجهی وجود دارد و با افزایش بارندگی عملکرد دانه گندم نیز افزایش می‌یابد (Eyshi Rezaie & Bannayan, 2012). در تحقیقی دیگر در جنوب استرالیا نیز تأثیر احتمالی تغییر آب‌وهوا را بر عملکرد گندم با استفاده از مدل APSIM-Wheat بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد، مناطق خشک به تغییر آب‌وهوا به‌ویژه تغییر در میزان بارندگی و افزایش دما حساس‌تر هستند و میانگین کاهش احتمال عملکرد دانه در همه مناطق مورد بررسی بین ۱۳/۵ تا ۳۲ درصد گزارش شد (Luo et al., 2005).

بررسی‌های انجام‌شده در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه کم است. کشور ایران از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که با توجه به ساختارهای زیست‌محیطی خاص به تغییرات زیست‌محیطی حساس‌تر است (Manschadi et al., 2010). به همین منظور، این تحقیق در راستای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی در استان خوزستان به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید گندم گام برداشته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی و گردآوری داده‌ها

این تحقیق در هفت شهرستان از استان خوزستان انجام شد (جدول ۱ و شکل ۱). استان خوزستان با مساحت ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع ۴ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است و در محدوده ۲۹ و ۵۸ تا ۳۲ و ۵۸ شمالی از خط استوا و ۴۷ و ۴۲ تا ۵۰ و ۳۹ از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. انتخاب شهرستان‌ها بر پایه سطح زیر کشت گندم آبی در آن‌ها بود که بیشترین میزان را در استان خوزستان دارند. نام و مشخصات جغرافیایی شهرستان‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

در این بررسی در آغاز داده‌های بلندمدت اقلیمی (۲۰-۳۰ ساله) شهرستان‌های مختلف استان خوزستان برای سال‌های مختلف از سازمان هواشناسی گردآوری شد. این داده‌ها که به‌عنوان متغیرهای ورودی مدل APSIM^۱ مورد نیاز هستند شامل: کمینه و بیشینه دمای روزانه (C°)، ریزش‌های جوی (mm) و تابش خورشیدی (MJ m⁻² d⁻¹) است. با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، میزان تابش روزانه ثبت نمی‌شود، با در اختیار داشتن شمار ساعت‌های آفتابی، تابش روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم به‌صورت زیر برآورد شد (Ainsworth *et al.*, 2004):

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

در این رابطه، R_s نشان‌دهنده تابش روزانه (مگاژول در مترمربع)، n شمار ساعت‌های آفتابی، N بیشترین شمار ساعت‌های آفتابی ممکن و R_a تابش فرازمینی است. فراسنجه (پارامتر)های a (۰/۲۵) و b (۰/۵) ضریب‌های آنگستروم واسنجی (کالیبره) شده محلی بر پایه موقعیت جغرافیایی منطقه هستند.

پس از محاسبه میزان تابش روزانه، داده‌های هواشناسی هفت شهرستان (دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش خورشیدی)، به‌عنوان ورودی برای نرم‌افزار WeatherMan^۲ استفاده شد

(Hoogenboom *et al.*, 2003). این نرم‌افزار داده‌های اقلیمی ازدست‌رفته یا پرت را با توجه به اقلیم گذشته هر منطقه، بازسازی می‌کند. خروجی به‌دست‌آمده از این نرم‌افزار، به‌عنوان ورودی برنامه LARS-WG در نظر گرفته شد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

سناریوها، دوره‌ها و مدل اقلیمی

در این تحقیق از مدل گردش عمومی HadCM3 (United Kingdom Met Office Hadley) استفاده شد. از آنجاکه روند آینده انتشار گازهای گلخانه‌ای قطعیت کافی ندارد، به‌منظور بررسی‌های تغییر اقلیم از سناریوهای مختلف، به‌طورمعمول برای دوره‌هایی با طول ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال یا بیشتر، استفاده می‌شود (Aggarwal & Kalra, 1994). در این بررسی از برنامه LARS-WG برای ساختن سناریو فایل اقلیم آینده برای چهار دوره زمانی (پایه ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) استفاده شد. خروجی این برنامه که شامل متغیرهای اقلیمی روزانه (میزان روزانه دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش)، با سناریوهای مختلف انتشار و نیز مدل HadCM3 برای چهار دوره اقلیمی بود، پس از آماده‌سازی به‌عنوان ورودی در مدل APSIM استفاده شد تا رشد و عملکرد گندم در شرایط اقلیمی آینده بررسی شود. در این تحقیق از سه سناریوی مختلف انتشار B1 و A2 و A1B برای همانندسازی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم استفاده خواهد شد. خروجی برنامه LARS-WG پس از آماده‌سازی به‌عنوان ورودی در مدل‌های همانندسازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی استفاده شد.

مدل همانندسازی رشد و نمو گندم در شرایط اقلیمی آینده

در این تحقیق برای پیش‌بینی پاسخ عملکرد گندم به تغییر آب و هوایی و ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم از مدل APSIM-Wheat که پیشتر توسط نگارندگان (Deihimfard *et al.*, 2015; Eyni Nargeseh *et al.*, 2014) واسنجی و اعتبارسنجی شده بود، در شرایط عادی استفاده شد. همانندساز نظام‌های تولید

رشد، طول فصل رشد، تابش تجمعی و شاخص سطح برگ بودند.

تجزیه داده‌ها

در این تحقیق همه تجزیه‌های آماری و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS (SAS Institute, 2001)، Sigmaplot و Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

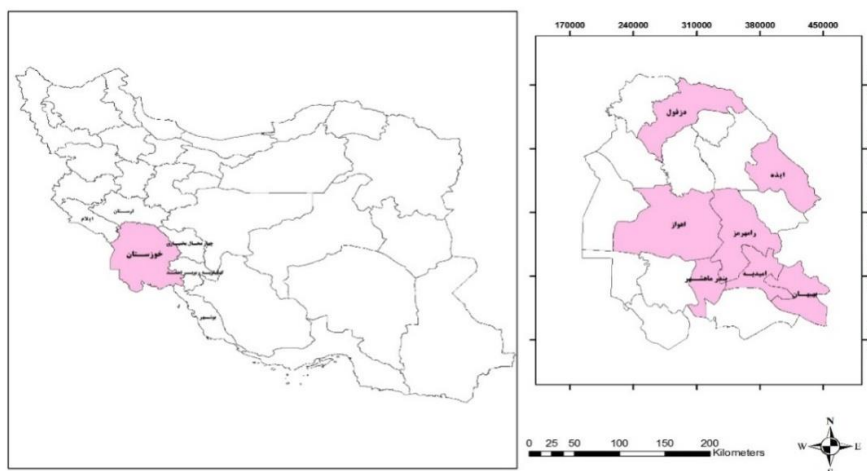
عملکرد دانه گندم در دوره پایه در استان خوزستان
نتایج همانندسازی‌ها با استفاده از مدل APSIM در شهرستان‌های مورد بررسی استان خوزستان نشان داد که بین شهرستان‌ها از نظر عملکرد دانه گندم در شرایط عادی (نبود تنش‌های زنده و غیرزنده) اختلاف معنی‌داری در دوره پایه وجود دارد (جدول ۲). در این جدول برخی از ویژگی‌های رشدی گندم در دوره پایه نیز نشان داده شده است. این صفات در بین مناطق مورد بررسی اختلاف معنی‌داری دارند.

کشاورزی (APSIM) یک مدل همانندسازی فرآیندگرایی نظام‌های زراعی است. این مدل توسط متخصصان استرالیایی طراحی شده است و توان بالایی برای همانندسازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد که به‌طور گسترده‌ای در استرالیا و مناطق دیگر در حوزه تحقیق و توسعه نظام‌های کشاورزی استفاده می‌شود و قادر به همانندسازی طیف گسترده‌ای از نظام‌های کشاورزی دیم و آبی است. برای استفاده از این مدل در آغاز با استفاده از برنامه LARS-WG اقلیم آینده برای هر چهار دوره زمانی (پایه، ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) پیش‌بینی شد و آن‌گاه این داده‌ها به‌عنوان ورودی، برای مدل APSIM-Wheat در نظر گرفته شد. ورودی‌های دیگر این مدل شامل داده‌های خاکی و اطلاعات مدیریتی (رقم، تاریخ کاشت، تراکم کاشت و غیره) بودند تا در کنار دیگر ورودی‌ها عملکرد گندم را در شرایط اقلیم آینده پیش‌بینی کنند. خروجی‌های این نرم‌افزار شامل عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، میانگین دمای فصل

جدول ۱. ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در استان خوزستان.

Table 1. Geographical characteristics of selected weather stations for the different regions in Khuzestan province

Location	Latitude	Longitude	Elevation (m)
Ahwaz	31.53	48.40	18
Behbahan	30.36	50.14	313
Bandar Mahshahr	30.33	49.13	140
Dezful	32.20	48.30	140
Izeh	31.50	49.50	835
Omidiyeh	30.45	49.42	21
Ramhormoz	31.17	49.36	179



شکل ۱. مختصات جغرافیایی منطقه مورد بررسی

Figure 1. The geographical position of the study locations

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات مختلف رشدی گندم در دوره پایه بین مناطق مورد بررسی.
Table 2. Mean comparison of different growth characteristics of wheat in the baseline

Location	Trait			
	Grain yield (Kg.ha ⁻¹)	Temperature over the growing season (°C)	Maximum LAI	Length of growing season (day)
Ahwaz	5628b	16b	4.6cd	146d
Behbahan	5385c	15.5c	4.5ef	150c
Bandar Mahshahr	5321c	16.1a	4.7ef	144e
Dezful	5660b	15d	5c	152b
Izeh	6767a	13c	5.5a	168a
Omidyeh	5230c	16a	4.5f	144e
Ramhormoz	5800b	16a	5b	145d

* مقادیر دارای حرف‌های مشترک در هر ستون بدون تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر پایه آزمون آماری Duncan هستند.
*Values in each column followed by similar letters are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

شهرستان بالا بوده (۱۶/۵ درجه سلسیوس) و عملکرد آن برابر با ۵۳۲۱ است. پایین‌ترین میانگین دمای فصل رشد نیز مربوط به شهرستان ایذه است که با ۱۳ درجه سلسیوس، بالاترین عملکرد (۶۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) را در بین همه شهرستان‌های مورد بررسی دارد (جدول ۲). نتایج همانندسازی‌ها و بررسی ارتباط بین عملکرد دانه گندم و طول فصل رشد نیز نشان داد که به‌طور کلی در استان خوزستان با افزایش طول فصل رشد، عملکرد گندم در شرایط عادی افزایش می‌یابد. با توجه به بررسی این ارتباط مشخص شد که در استان خوزستان به ازای هر یک روز افزایش در طول فصل رشد، عملکرد گندم در این استان به میزان ۵۱ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد (شکل ۳). تجزیه همبستگی نیز بین عملکرد دانه و طول فصل رشد معنی‌دار (۰/۳۶) بود. بررسی نتایج همانندسازی‌ها همچنین نشان داد که در شهرستان‌های اهواز، ایذه، دزفول، رامهرمز، امیدیه و بندر ماهشهر با افزایش شاخص سطح برگ، عملکرد دانه گندم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در شهرستان امیدیه بیشترین افزایش عملکرد دانه به ازای هر واحد افزایش شاخص سطح برگ مشاهده شد که با هر واحد افزایش شاخص سطح برگ عملکرد دانه گندم ۱۰۳۹ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت.

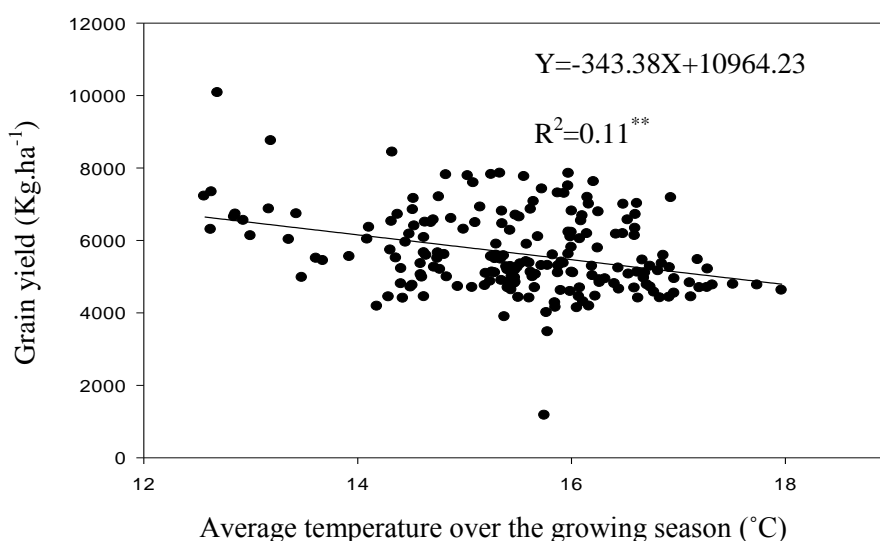
عملکرد دانه گندم در شرایط تغییر اقلیم آینده در استان خوزستان

در دوره پایه بیشترین عملکرد دانه در شهرستان‌های ایذه و رامهرمز و کمترین عملکرد دانه در شهرستان امیدیه مشاهده شد (جدول ۲). شکل ۴ مقادیر

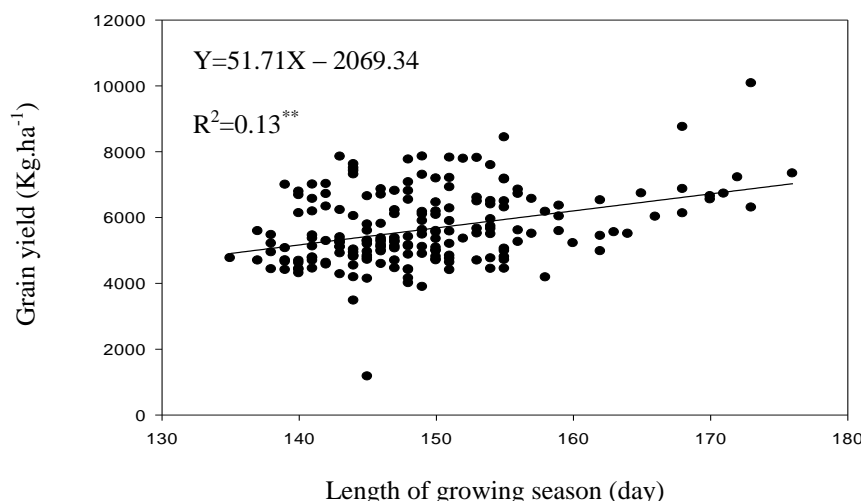
نتایج همانندسازی‌ها نشان داد، بیشترین عملکرد همانندسازی‌شده دوره پایه در شرایط عادی مربوط به شهرستان‌های ایذه و رامهرمز است. ظرفیت عملکرد دانه در شهرستان ایذه معادل ۶۷۶۷ کیلوگرم در هکتار و در شهرستان رامهرمز ۵۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. طول فصل رشد در این شهرستان‌ها به ترتیب ۱۶۸/۱۸ و ۱۴۵/۱۴ روز و میانگین دمای طول فصل رشد، ۱۳/۱۸ و ۱۶/۱۱ درجه سلسیوس همانندسازی شد. کمترین عملکرد دانه همانندسازی‌شده در شرایط عادی مربوط به شهرستان امیدیه با عملکردی معادل ۵۲۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. بالا بودن عملکرد دانه گندم در شهرستان‌های ایذه و رامهرمز نسبت به دیگر مناطق مورد بررسی نشان‌دهنده مناسب بودن شرایط اقلیمی مانند میانگین دما و طول فصل رشد (جدول ۲) در این مناطق برای رشد گندم و رسیدن به ظرفیت عملکرد دانه است. نتایج همانندسازی‌ها و بررسی ارتباط بین عملکرد دانه گندم و میانگین دمای طول فصل رشد نشان داد که به‌طور کلی در استان خوزستان با افزایش میانگین دمای طول فصل رشد، عملکرد گندم در شرایط عادی کاهش می‌یابد. بررسی این ارتباط همچنین نشان داد که در استان خوزستان به ازای هر ۱ درجه سلسیوس افزایش در میانگین دمای طول فصل رشد، عملکرد گندم در این استان به میزان ۳۴۳ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد (شکل ۲). بالاترین میانگین دمای فصل رشد در بین شهرستان‌های مورد بررسی، مربوط به شهرستان بندر ماهشهر است (جدول ۲) که بین ۱۴/۵ تا ۱۷/۵ درجه سلسیوس متغیر است. میانگین دمای فصل رشد در این

یادشده نیز تفاوت فراوانی دیده می‌شود. بالاترین عملکرد در بیشتر مناطق و دوره‌ها مربوط به سناریو A2 و بیشترین تفاوت بین سناریوها در دوره ۹۹-۲۰۸۰ است. به نظر می‌رسد از عامل‌های مهم در افزایش عملکرد با سناریو A2 بالاتر بودن غلظت CO₂ در این سناریو نسبت به دیگر سناریوهاست (جدول ۳). افزایش غلظت CO₂، به‌تنهایی باعث افزایش نورساخت (فتوسنتز) و در نتیجه عملکرد بیشتر برای اغلب گیاهان زراعی خواهد شد. با این‌وجود به‌رغم شواهد موجود مبنی بر اینکه دو برابر شدن غلظت CO₂ باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد بررسی‌ها نشان داده است، افزایش مورد انتظار عملکرد با توجه به افزایش دما تحقق نخواهد یافت (Koocheki & Nassiri, 2008). در بررسی بیان شد، به‌طورکلی در شرایط افزایش دی‌اکسید کربن، تولید زیست‌توده افزایش می‌یابد (Aggarwal & Kalra, 1994). در یک بررسی دیگر Attri & Rathore (2003) در هند مشاهده کردند که ۱ درجه سلسیوس افزایش دما و دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن، عملکرد گندم را ۲۹ تا ۳۷ درصد افزایش می‌دهد. آنان همچنین نشان دادند، افزایش دما بیشتر از ۳ درجه خنثی می‌کند و عملکرد گندم تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد (Attri & Rathore, 2003).

همانندسازی‌شده عملکرد دانه را در سه دوره آینده (۲۰۱۱-۳۰، ۲۰۴۶-۶۵ و ۲۰۸۰-۹۹) با سه سناریوی انتشار (A2 و A1B, B1) و مدل اقلیمی HadCM3 نشان می‌دهد. نتایج همانندسازی‌ها نشان داد، در شرایط تغییر اقلیم آینده با سناریوهای مختلف انتشار CO₂، عملکرد دانه گندم در استان خوزستان روند افزایشی را در دوره‌های مختلف نسبت به دوره پایه خواهد داشت. بیشترین عملکرد دانه همانندسازی‌شده در شهرستان ایذه به دست خواهد آمد. در شهرستان ایذه با سناریوهای مختلف انتشار در آینده عملکرد دانه در مقایسه با دوره پایه (۶۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) از ۸۴۱۹ کیلوگرم در هکتار در دوره ۲۰۱۱-۳۰ تا ۸۷۵۰ کیلوگرم در هکتار در دوره ۲۰۴۶-۶۵ با سناریوی A1B و تا ۸۸۳۱ کیلوگرم در هکتار در دوره ۲۰۸۰-۹۹ با سناریوی B1 تغییر خواهد کرد. نتایج همانندسازی همچنین نشان داد که کمترین عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با دوره پایه (۵۲۳۰ کیلوگرم در هکتار) در شهرستان امیدیه به دست خواهد آمد. در بیشتر شهرستان‌های مورد بررسی با فاصله گرفتن از دوره پایه ظرفیت عملکرد دانه گندم، در دوره‌های بعد افزایش می‌یابد، که بیشترین آن طی دوره ۲۰۸۰-۹۹ و مربوط به سناریو A2 است. در بین سناریوهای



شکل ۲. ارتباط بین میانگین دمای طول فصل رشد و عملکرد دانه گندم در همه شهرستان‌های مورد بررسی در دوره پایه
Figure 2. Relationship between average temperature over the growing season and wheat grain yield in all study locations in the baseline



شکل ۳. ارتباط بین طول فصل رشد و عملکرد دانه گندم در تمام شهرستان‌های مورد بررسی در دوره پایه
Figure 3. Relationship between length of growing season and wheat grain yield in all of study locations in the baseline

جدول ۳. غلظت CO₂ (ppm) در دوره‌ها و سناریوهای مختلف (Nakicenovic & Swart, 2000)

Scenarios	2011-30	2046-2065	2080-99
B1	410	492	538
A2	414	545	754
A1B	418	541	674

جدول ۴. میانگین صفات مختلف رشدی گندم در شرایط تغییر اقلیم بین مناطق مورد بررسی (میانگین همه دوره‌ها و سناریوهای آینده). مقادیر داخل پرانتز خطای استاندارد هستند.

Table 4. Average of different growth characteristics of wheat under climate change conditions in all study locations (averaged across all periods and scenarios). Values presented in parentheses are standard errors

Location	Trait			
	Grain yield (Kg.ha ⁻¹)	Temperature over the growing season (°C)	Maximum LAI	Length of growing season (day)
Ahwaz	6532(±391)	17.24(±0.79)	6.17(±0.47)	137.24(±3.2)
Behbahan	6422(±476)	16.35(±0.66)	5.74(±0.52)	143(±3.24)
Bandar Mahshahr	6464(±376)	17.17(±0.72)	5.79(±0.4)	138(±3.02)
Dezful	6516(±371)	16.41(±0.84)	5.89(±0.5)	143(±4.17)
Izeh	7691(±431)	14.04(±0.65)	6.8(±0.6)	160(±5.6)
Omidyeh	6278(±394)	17.19(±0.76)	5.67(±0.4)	139(±2.95)
Ramhormoz	6595(±445)	17.27(±0.78)	5.97(±0.47)	139(±3.33)

پایه در شرایط عادی مربوط به شهرستان‌های ایذه و رامهرمز بود. ظرفیت عملکرد دانه در دوره پایه در شهرستان ایذه معادل ۶۷۶۷ کیلوگرم در هکتار و در شهرستان رامهرمز ۵۸۰۰ کیلوگرم در هکتار همانندسازی شد. طول فصل رشد در این شهرستان‌ها به ترتیب، ۱۶۸ و ۱۴۵ روز و میانگین دمای طول فصل رشد، ۱۳ و ۱۶ درجه سلسیوس به دست آمد. در دوره آینده نیز بیشترین عملکرد همانندسازی شده به ترتیب مربوط به شهرستان ایذه و رامهرمز بود. ظرفیت عملکرد دانه در آینده در شهرستان ایذه برابر با ۷۶۹۱

نتایج همانندسازی‌ها با استفاده از مدل اقلیمی HadCM3 با سه سناریوی A1B، A2 و B1 در سه دوره زمانی (۲۰۸۰-۲۰۶۴-۲۰۳۰) در شهرستان‌های مورد بررسی استان خوزستان همچنین نشان داد، بین شهرستان‌ها از نظر عملکرد دانه گندم در شرایط اقلیمی آینده اختلاف وجود دارد (جدول ۴). در این جدول برخی از ویژگی‌های رشدی گندم در آینده نشان داده شده است که این صفات در بین مناطق مورد بررسی اختلاف دارند. همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، بیشترین عملکرد همانندسازی شده دوره

و تغییر بارندگی خطی نیست و به طور قابل توجهی بین نوع خاک و محل متفاوت است. غلظت CO₂ بالا عملکرد را به ویژه در مناطق خشکتر افزایش داد در حالی که درجه دما بالاتر در بخش جنوبی سردتر و مرطوبتر منطقه، تأثیر مثبت داشت (Ludwig & Asseng, 2006). نتایج این تحقیق با این وجود نشان داد، شهرستان ایذه با توجه به اقلیم سردتر و میانگین دمای فصل رشد پایینتر در دوره پایه (جدول ۲) در مقایسه با دیگر مناطق مورد بررسی نسبت به افزایش دما و مطلوب شدن شرایط برای رشد و نمو گندم در آینده واکنش مثبتی را نشان داد.

شکل ۵ درصد تغییر عملکرد دانه گندم را در مناطق مورد بررسی به تفکیک سناریو (A1B، A2، B1) و سه دوره (۲۰۸۰-۲۰۶۴-۲۰۳۰) نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود نوسانهای فراوانی در افزایش عملکرد در بین شهرستانهای مورد بررسی و دوره ها و سناریوهای مختلف وجود دارد. بنا بر نتایج به دست آمده کمترین درصد تغییرپذیری عملکرد دانه در سناریو A1B مربوط به شهرستان رامهرمز در دوره ۲۰۱۱-۳۰ به میزان ۲۱ درصد و بیشترین درصد تغییرپذیری در این دوره افزایش ۳۲ درصدی عملکرد دانه در شهرستان اهواز است. این در حالی است که بیشترین درصد تغییرات عملکرد دانه در این سناریو مربوط به شهرستان بهبهان و در دوره ۲۰۸۰-۹۹ به میزان ۴۴ درصد است و کمترین درصد تغییرات در این دوره مربوط به شهرستان رامهرمز است. در دوره ۲۰۴۶-۶۵ نیز بیشترین درصد تغییرات مربوط به شهرستان ایذه و کمترین آن در شهرستان دزفول است. درصد تغییرات عملکرد در این سناریو مثبت بوده و به طور کلی روند آن در آینده افزایشی بوده است. دامنه تغییر عملکرد دانه بین ۰ درصد در شهرستان رامهرمز در دوره ۲۰۱۱-۳۰ تا ۴۵ درصد در شهرستان بهبهان در دوره ۲۰۸۰-۹۹ متغیر است (شکل ۵). سناریو A2 در مقایسه با سناریوهای A1B و B1 نوسان عملکرد بیشتری در درصد تغییرات عملکرد دانه دارد. در این سناریو اغلب شهرستانها در دوره های مختلف افزایش بالای ۲۰ درصد داشته اند. دامنه نوسانهای عملکرد در این سناریو بین ۲- درصد

کیلوگرم در هکتار و در شهرستان رامهرمز ۶۵۶۵ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. نتایج همانندسازی همچنین نشان داد، طول فصل رشد در این شهرستانها به ترتیب، ۱۶۰ و ۱۳۹ روز و میانگین دمای طول فصل رشد، ۱۴/۰۴ و ۱۷/۱۷ درجه سلسیوس پیش بینی خواهد شد. کمترین عملکرد دانه همانندسازی شده در شرایط اقلیمی آینده هم مربوط به شهرستان امیدیه با عملکردی معادل ۶۲۷۸ کیلوگرم در هکتار است. بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به شهرستان ایذه معادل ۶/۸ و کمترین آن مربوط به شهرستان امیدیه است. با توجه به کوتاه شدن طول فصل رشد در شرایط اقلیمی آینده (جدول ۲) به نظر می رسد بالا بودن عملکرد دانه گندم در شهرستانهای ایذه و رامهرمز به دلیل بالا بودن شاخص سطح برگ و افزایش غلظت دی اکسید کربن (جدول ۳) در این مناطق خواهد بود. همچنین در ایذه که اقلیم آن خشک است، با افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم، شرایط برای رشد گندم مطلوبتر خواهد شد. با توجه به عملکرد بالای گندم در شهرستانهای ایذه و رامهرمز و دیگر مناطق مورد بررسی، دلیل عملکرد پایین در شهرستان امیدیه پایین بودن شاخص سطح برگ در مقایسه با دیگر شهرستانهایی است که عملکرد بالایی دارند. شهرستان امیدیه، در مقایسه با ایذه که بیشترین عملکرد را در استان خوزستان دارد، ۱/۲ واحد، شاخص سطح برگ کمتری تولید خواهد کرد (جدول ۴). نتایج دیگر تحقیقات نشان می دهد، به طور معمول بین افزایش دما و غلظت دی اکسید کربن اثر متقابل وجود دارد و در دماهای بالا در طول فصل رشد اثر مثبت افزایش دی اکسید کربن خنثی می شود. به عنوان نمونه Ludwig & Asseng (2006) در تحقیق خود، تأثیر تغییر اقلیم بر تولید گندم در محیط مدیترانه ای غرب استرالیا، تأثیر دمای بالا و افزایش غلظت CO₂ را با پنج سناریوی بارندگی، بر عملکرد گندم و پروتئین دانه بررسی کردند. تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از مدل همانندسازی نظام های تولید کشاورزی (APSIM-Nwheat) همانندسازی شد. نتایج همانندسازی نشان داد، به طور کلی تأثیر دماهای بالا، افزایش غلظت CO₂

فراوانی دارند، به‌عنوان مثال، در طول فصل رشد ۱۴۵ روز، عملکرد دانه از ۵۵۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است و با این توصیف می‌توان نتیجه گرفت که عامل‌های اقلیمی مانند دما و تابش که بسته به منطقه متفاوت هستند در آینده نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. بنابراین از این صفت نمی‌توان به‌تنهایی برای توجیه کاهش یا افزایش عملکرد در آینده استان خوزستان استفاده کرد. نتایج همانندسازی‌ها در همه سناریوها و بررسی رابطه بین عملکرد دانه گندم و طول فصل رشد در مناطق مختلف نیز نشان داد، بین این دو صفت در همه شهرستان‌ها ارتباط معنی‌داری وجود ندارد.

بررسی رابطه بین عملکرد دانه گندم و شاخص سطح برگ در آینده نیز نشان می‌دهد، در استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم آینده به ازای هر یک واحد افزایش در شاخص سطح برگ، عملکرد دانه گندم به میزان ۷۹۲ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت (شکل ۷). با توجه به اینکه برگ اندام اصلی نورساخت به‌شمار می‌آید با افزایش سطح برگ، گیاه می‌تواند نور و دی‌اکسید کربن بیشتری جذب کرده و در نتیجه میزان نورساخت افزایش یافته و عملکرد بیشتر می‌شود. نتایج همانندسازی‌ها در همه سناریوها در آینده و بررسی رابطه بین عملکرد دانه گندم و شاخص سطح برگ به تفکیک شهرستان نیز نشان داد، بین این دو صفت در همه شهرستان‌ها ارتباط معنی‌داری وجود دارد (شکل ۸). در شهرستان رامهرمز با افزایش هر واحد شاخص سطح برگ ۷۶۴ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش یافته که بیشترین واکنش را نسبت به افزایش شاخص سطح برگ داشته است. شهرستان دزفول نیز با افزایش ۴۰۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه به ازای هر واحد افزایش شاخص سطح برگ کمترین واکنش را در آینده نشان خواهد داد. بیشترین افزایش شاخص سطح برگ، در شرایط اقلیمی آینده در شهرستان ایذه تا حدود ۸/۵ است که یکی از دلایل افزایش عملکرد در این منطقه نیز است. نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان‌دهنده رابطه مثبت و معنی‌دار بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه (۰/۸) است (جدول ۵).

در دوره ۲۰۱۱-۳۰ در شهرستان دزفول تا ۵۴+ درصد در شهرستان بهبهان در دوره ۲۰۱۱-۳۰ است. کمترین درصد تغییرپذیری‌های عملکرد دانه در سناریو B1 مربوط به شهرستان رامهرمز در دوره ۳۰-۲۰۱۱ به میزان ۱۸ درصد و بیشترین درصد تغییرپذیری‌ها در این دوره افزایش ۳۴ درصدی عملکرد دانه در شهرستان ایذه است. این در حالی است که بیشترین درصد تغییرپذیری عملکرد دانه در این سناریو مربوط به شهرستان ایذه و در دوره ۶۵-۲۰۴۶ به میزان ۳۷ درصد است و کمترین درصد تغییرپذیری در این دوره مربوط به شهرستان دزفول است. در دوره ۲۰۸۰-۹۹ نیز بیشترین درصد تغییرپذیری مربوط به شهرستان اهواز و کمترین آن در شهرستان رامهرمز است. به‌طورکلی درصد تغییرپذیری عملکرد دانه در هر سه سناریو مثبت بوده و در سناریو A1B این روند در طی دوره‌های زمانی (از ۲۰۳۰ به ۲۰۹۹) روند صعودی داشته است. سناریو A2 نسبت به دو سناریو دیگر نوسان‌های بیشتری در درصد تغییرات عملکرد دانه داشته است که دامنه آن بین ۲- درصد تا ۵۴ درصد است.

سناریو A2 در مقایسه با سناریوهای A1B و B1 نوسان عملکرد بیشتری در درصد تغییرپذیری عملکرد دانه دارد. در این سناریو اغلب شهرستان‌ها در دوره‌های مختلف افزایش بالای ۲۰ درصد داشته‌اند. دامنه نوسان‌های عملکرد در این سناریو بین ۲- درصد در دوره ۲۰۱۱-۳۰ در شهرستان دزفول تا ۵۴+ درصد در شهرستان بهبهان در دوره ۲۰۱۱-۳۰ است.

ارتباط بین عملکرد دانه با دیگر صفات رشد و نمود گندم در آینده

نتایج همانندسازی‌ها و بررسی ارتباط بین عملکرد دانه و طول فصل رشد در آینده نشان داد که در استان خوزستان در شرایط تغییر اقلیم آینده به ازای هر یک روز افزایش در طول فصل رشد، عملکرد دانه گندم به میزان ۳۸ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت (شکل ۶). تجزیه همبستگی نیز نشان‌دهنده رابطه مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و طول فصل رشد است (جدول ۶). البته داده‌ها پراکندگی

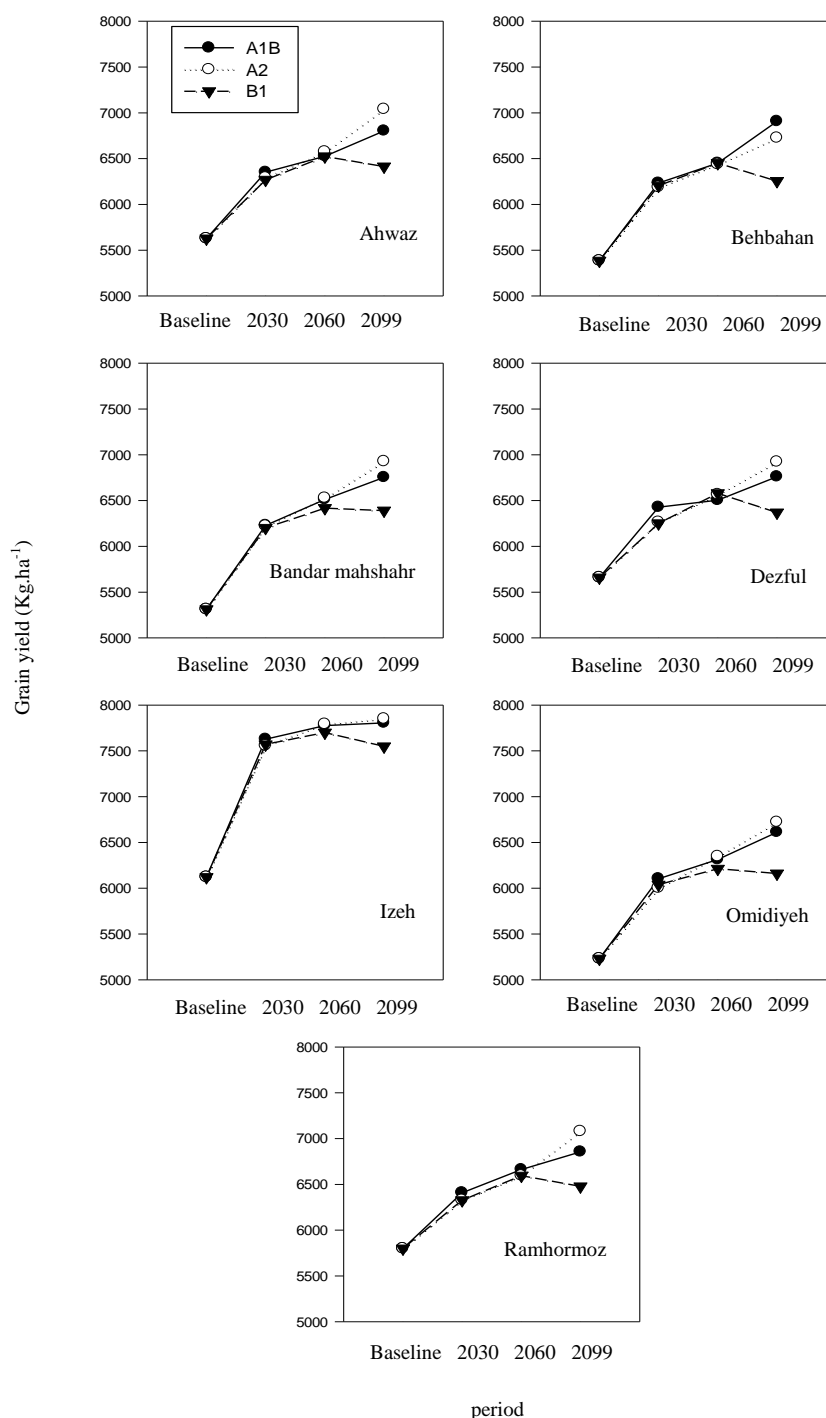
جدول ۵. همبستگی بین صفات مختلف در شرایط تغییر اقلیم در استان خوزستان

Table 5. Correlation between different traits under climate change in Khuzestan province

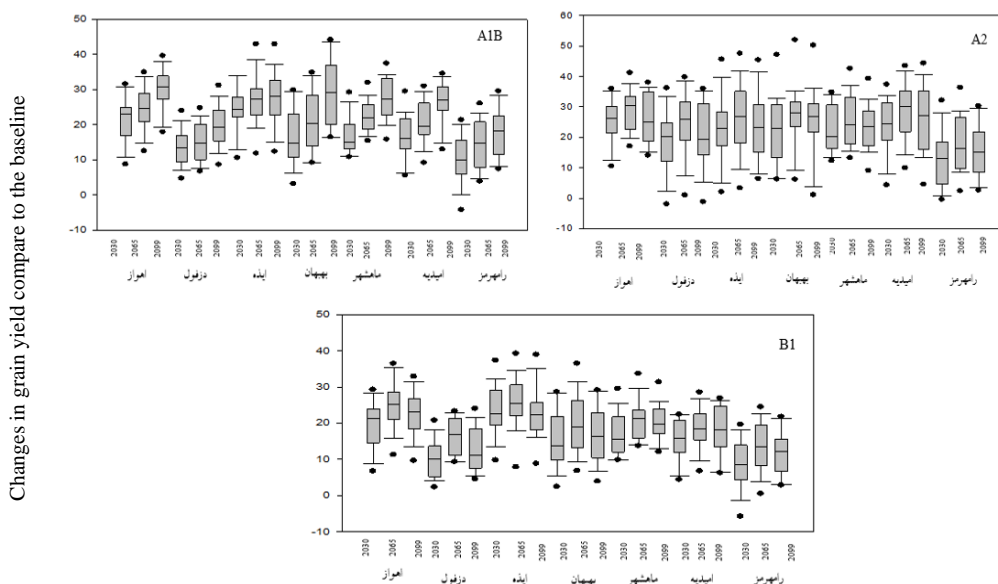
	Grain yield	Temperature	LAI	Length of growing season
Grain yield	1			
Temperature	-0.39**	1		
LAI	0.8**	-0.26**	1	
Length of growing season	0.79**	-0.96**	-0.36**	1

*, **, ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% probability levels, and non-significantly difference, respectively.

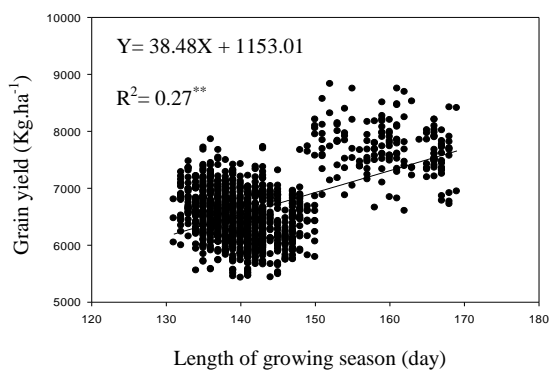


شکل ۴. عملکرد دانه گندم در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان تحت سناریوها و دوره های آینده
Figure 4. Grain yield of wheat in different locations of Khuzestan province under scenarios and periods in future

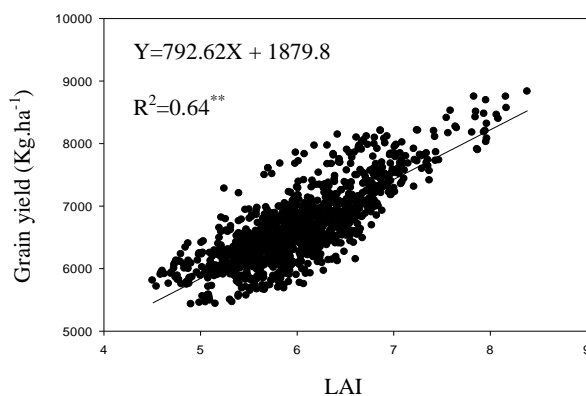


شکل ۵. درصد تغییرات عملکرد دانه گندم نسبت به دوره پایه در مناطق مورد بررسی با سناریوها (A1B، A2، B1) و دوره‌های مختلف (۲۰۳۰-۲۰۶۴-۲۰۸۰). طول جعبه نمایانگر نوسان‌های میان سال‌ها و دوره‌های مختلف است. نقاط نشان‌دهنده داده‌های پرت و بارها در دو طرف جعبه نشان‌دهنده ۲۵ درصد و ۷۵ درصد داده‌ها هستند.

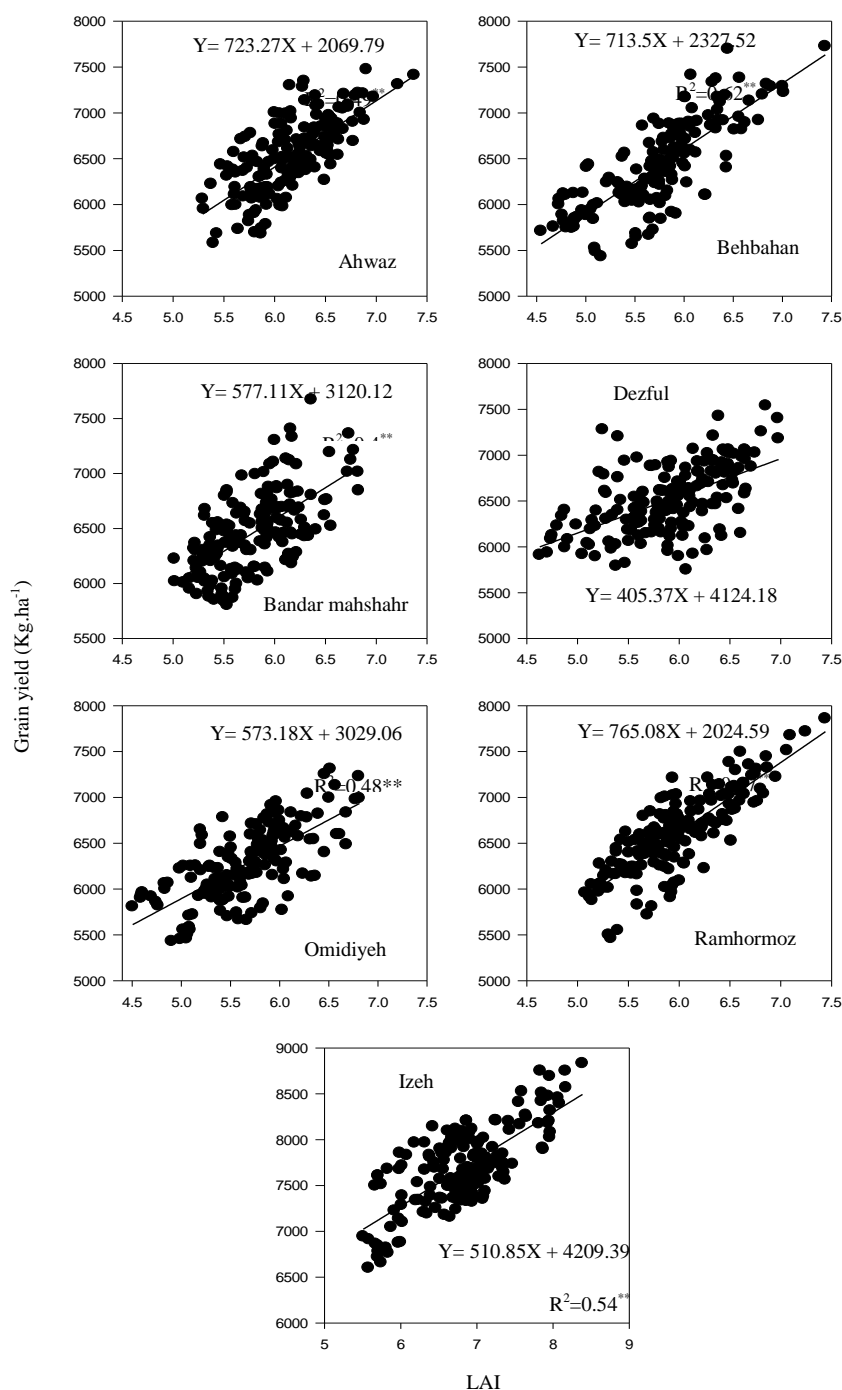
Figure 5. Changes in grain yield (%) in all study locations under different scenarios (B1, A2 and A1B) and periods (2030-2064-2080) compare to the baseline. The length of each box denotes variability across years and future periods. Points show the outliers and whiskers at the 25th and 75th percentiles of grain yield.



شکل ۶. ارتباط بین طول فصل رشد و عملکرد دانه گندم در آینده
Figure 6. Relationship between length of growing season and grain yield in future



شکل ۷. ارتباط بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گندم در آینده
Figure 7. Relationship between LAI and grain yield in future



شکل ۸. ارتباط بین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گندم در آینده به تفکیک مناطق مختلف
Figure 8. Relationship between LAI and grain yield in future for all study locations

نتیجه‌گیری کلی

در مقایسه با دوره پایه (۵۶۷۷ کیلوگرم در هکتار) ۱۳ درصد، در دوره ۶۵-۲۰۴۶، ۱۷/۵ درصد و در دوره ۹۹-۲۰۸۰، ۲۰ درصد افزایش خواهد یافت. با توجه به افزایش دمای طول فصل رشد در آینده استان، این افزایش عملکرد نشان‌دهنده آن است که به احتمال تأثیر مثبت CO₂ تأثیر افزایش دما را خنثی کرده است.

نتایج این تحقیق نشان داد، در شرایط تغییر اقلیم آینده (افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن) در استان خوزستان عملکرد دانه گندم در شرایط عادی روند افزایشی خواهد داشت. به‌طور میانگین در این استان در همه سناریوها در دوره ۳۰-۲۰۱۱ میانگین عملکرد دانه

افزایش عملکرد دانه در استان خوزستان، افزایش شاخص سطح برگ در آینده است که همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشت و طول فصل رشد در مقایسه با شاخص سطح برگ، تأثیر بسیار کمتری بر افزایش عملکرد دانه در آینده استان خوزستان داشته است.

همچنین بنابر نتایج به دست آمده در شرایط اقلیمی آینده در فرآیند دوره‌های زمانی (۲۰۹۹-۲۰۶۵-۲۰۳۰) و با سناریوها (A1B، B1 و A2)، روند طول فصل رشد کاهش یافته است و با افزایش طول فصل رشد، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. همچنین یکی دیگر از عوامل مؤثر در

REFERENCES

1. Aggarwal, P. K. & Kalra, N. (1994). Simulating the effect of climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat: II. Climatically potential yields and optimal management strategies. *Field Crops Research*, 38, 93-103.
2. Ainsworth, E. A., Rogers, A., Nelson, R. & Long, S. P. (2004). What have we learned from 15 years of free-air CO₂ Enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 165, 351- 372.
3. Attri, S. D. & Rathore, L. S. (2003). Simulation of impact of projected climate change on wheat in India. *International Journal of Climatology*, 23, 693-705.
4. Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M. & Koocheki, A. (2015). Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research*, 184, 28-38.
5. Eyshi Rezaie, E. & Bannayan, M. (2012). Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Application*, 19, 346-354.
6. Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghigat, M. & Nouri, O. (2014). Predicting the effects of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Electronic Journal of Crop Production*, (Accepted for Publication). (in Farsi)
7. Hoogenboom, G., Jones, J. W., Porter, C. H., Wilkens, P. W., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A. & Tsuji, G. Y. (2003). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Vol. 1: Overview. *University of Hawaii, Honolulu, HI*.
8. IPCC. (2014). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1150.
9. Koocheki, A., Nassiri, M., Sharifi, H. & Zand, E. (2001). Simulation of growth, phenology and production of Wheat cultivars in effect of climate change under Mashhad conditions. *Journal of International Desert Research Center*, 6(2), 117-127.
10. Koocheki, A. & Nassiri, M. (2008). Impacts of climate change and CO₂ concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Journal of Iranian Field Crops Research*, 6(1), 139-153. (in Farsi)
11. Lv, Z., Lio, X., Cao, W. & Zhu, Y. (2013). Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agricultural of Forest Meteorology*, 171, 234-248.
12. Ludwig, F. & Asseng, S. (2006). Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural System*, 90, 159- 179.
13. Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M. & Bryan, B. (2005). Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *Agricultural Forest Meteorology*, 132, 273-285.
14. Manschadi, A., Soufizadeh, S. & Deihimfard, R. (2010). The role and important of crop modeling in improving crop production in Iran. In *Proceeding of 11th Iranian Plant Breeding and Agronomy Congress*. 14-17 Sep., Tehran, Iran, pp. 234-247.
15. Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. A. & Shahandeh, H. (2006). Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(1), 113-124.
16. Nakicenovic, N. & Swart, R. (2000). *Emissions scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
17. Ozdogan, M. (2011). Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture Ecosystem & Environment*, 141, 1-12.
18. Warren Wilson, J. (1967). Ecological data on dry-matter production by plants and plant communities. In: Bradley, E.F. & Denmead, O.T. (Ed), *The collection and processing of field data* (pp. 77- 123). Interscience, New York.