

## مدلسازی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی تحت شرایط محدودیت آب در خراسان رضوی

زهرا زینلی مبارکه<sup>۱</sup>، رضا دیهیم فرد<sup>۲\*</sup>، جعفر کامبوزیا<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۹

۱- دانشجوی دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\* مسئول مکاتبه: Email: deihim@sbu.ac.ir, deihimfard@gmail.com

### چکیده

به دلیل افزایش جمعیت جهانی به همراه کاهش سطح زمین‌های بارور و منابع آب، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بهره‌وری کشاورزی به طور ویژه‌ای دارای اهمیت می‌باشد. به همین منظور این تحقیق در شش شهرستان از استان خراسان رضوی (قوچان، گناباد، مشهد، سبزوار، تربت حیدریه و تربت جام) انجام شد. ابتدا اقلیم آینده (سال ۲۰۵۰) با استفاده از داده‌های اقلیمی بلندمدت در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و با روش ارائه شده توسط AgMIP، تحت دو سناریوی اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی شد. مدل گردش عمومی مورد استفاده در این تحقیق MPI-ESM-MR بود و به منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گندم از مدل APSIM-Wheat در شرایط محدودیت آب استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که میانگین تغییرات دمای طول فصل رشد در منطقه مورد مطالعه در آینده نسبت به پایه (۹/۷۹ درجه سانتی‌گراد) افزایشی بوده و تحت هر دو RCP به ترتیب برابر با ۱/۴۱ و ۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین نتایج نشان دادند که در آینده طول دوره رشد بین ۱۳ تا ۲۴/۶ روز و فاصله زمانی کاشت تا گلدهی بین ۱۳/۲ تا ۳۰/۴ روز کاهش یافته و از سوی دیگر طول دوره پر شدن دانه بین ۰/۲ تا ۴/۴ روز افزایش می‌یابد. در این تحقیق اثرات متقابل دما و CO<sub>2</sub> و مجموع تغییرات رشد و نمو گندم آبی موجب تغییرات مثبت عملکرد دانه در آینده در بیشتر شهرستان‌های مورد بررسی (۱ تا ۱۲/۹ درصد) و کاهش عملکرد در تربت حیدریه (۴/۱- درصد) شد. یافته‌های این تحقیق همچنین نشان دادند تغییر تاریخ کاشت در آینده موجب افزایش بیشتر عملکرد خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تغییر اقلیم، عملکرد دانه، AgMIP، APSIM-Wheat، مدل سازی

## Modelling the Impacts of Climate Change on Irrigated Wheat Yield Under Water Limited Conditions in Khorasan Razavi Province

Zahra Zeinali Mobarakeh<sup>1</sup>, Reza Deihimfard<sup>2,\*</sup>, Jafar Kambouzia<sup>2</sup>

Received: October 10, 2017 Accepted: June 19, 2018

1-PhD Student, Dept. of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Assist. Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University Tehran, Iran.

\* Corresponding Author Email: deihim@sbu.ac.ir , deihimfard@gmail.com

### Abstract

The current study was conducted in six locations of Khorasan Razavi province (Ghoochan, Gonabad, Mashhad, Sabzevar, TorbateHeydariyeh and TorbateJam). At first, future climate (2050) was generated using long term climate data of baseline (2010-1980) and by AgMIP method on two climates scenario (RCP4.5, RCP8.5). A Global Circulation Model namely MPI-ESM-MR along with APSIM-Wheat model were used for growth and yield simulation of wheat under water-limited conditions. Simulating results showed that average changes in growth season temperature will be increased as 14.4 and 18.6 percent in the studied areas in future in comparison with baseline for RCP4.5 and RCP8.5, respectively (1.41 and 1.83 °C compared with the baseline). Also, results indicated that the length of growing season and days to flowering will be declined 13 to 24.6 days and 13.2 to 30.4 days, respectively. In this research, the grain yield had positive changes in future in most of the studied locations due to the interaction of temperature and CO<sub>2</sub>. The results of this study also revealed that changing sowing date could result in an increase in grain yield in future. Locations with higher baseline temperature well responded to two weeks earlier in sowing date while locations with lower baseline temperature had good performance in sowing date of two weeks later which resulted in further yield increase in the future. Overall, the findings of this study suggested that changing sowing date in future could further increase wheat grain yield which is highly important for food security, according to the increasing demand in future.

**Keywords:** Agmip, APSIM-Wheat, Climate Change, Grain Yield, Modeling, Sowing Date

### مقدمه

زراعی و ۶۳/۱۷ درصد از کل تولید غلات کشور بوده است (احمدی و همکاران ۲۰۱۶). برآوردهای موجود نشان می‌دهد که نیاز کشور به گندم تا سال ۱۴۰۰ از مرز ۲۰ میلیون تن در سال خواهد گذشت که حدود ۷۰-۶۵ درصد از این مقدار باید از اراضی آبی و بقیه از اراضی

در میان محصولات زراعی در ایران، گندم دارای اهمیت ویژه ای می‌باشد. به طوریکه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، میزان تولید گندم کشور ۱۱/۵ تن برآورد شده است که معادل ۱۴/۹۶ درصد از کل تولید محصولات

افزایش غلظت CO<sub>2</sub> جوی می‌تواند موجب افزایش سرعت فتوسنتز و افزایش کارایی مصرف آب و در نتیجه افزایش عملکرد گندم شود (دریک و همکاران ۱۹۹۷؛ عینی نرگسه و همکاران، ۲۰۱۷، اوزدوگان ۲۰۱۱). افزایش دما نیز می‌تواند عملکرد را کاهش یا افزایش دهد (وان ایترسام و همکاران ۲۰۰۳). در صورتیکه افزایش دما موجب جابجایی زمان پر شدن دانه به روزهای خنک‌تر و مرطوب‌تر فصل رشد گردد موجب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و تجمع نیتروژن در دانه و افزایش عملکرد می‌شود (وان ایترسام و همکاران ۲۰۰۳). از سوی دیگر افزایش دما قادر است طول دوره رسیدگی را کاهش داده و موجب کاهش تجمع ماده خشک شود (ویلر و همکاران ۱۹۹۶ و اوزدوگان ۲۰۱۱). همچنین تنش دمایی در زمان‌های حساس رشدی مانند گلدهی از دیگر اثرات تغییر اقلیم است که می‌تواند موجب کاهش عملکرد شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم اثرات متفاوتی را بر تولید و عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم ایجاد خواهند کرد و این عوامل در ترکیب با یکدیگر ممکن است افزایش یا کاهش محصول را موجب شوند. در نتیجه اثر خالص تغییر اقلیم بر عملکرد به اثرات متقابل بین این عوامل بستگی دارد (کریشنان و همکاران ۲۰۰۷). این اثرات به اقلیم فعلی و شرایط خاک، جهت تغییر و راهکارهای سازگاری مورد استفاده در مواجهه با این تغییرات بستگی دارد (اوزدوگان ۲۰۱۱).

رشد و نمو گیاه زراعی که توسط تغییر اقلیم تأثیر می‌پذیرد را می‌توان با مدل‌های گیاهی مانند DSSAT، WOFOST، SUCROS، APSIM و غیره تخمین زد. مدل‌های گیاهی بر فاکتورهای بیوفیزیکی مانند اقلیم و شرایط خاک، به شدت تأکید دارند (ریدزما و همکاران ۲۰۱۰) و با در اختیار داشتن اطلاعات خروجی از این مدل‌ها می‌توان فرایندهای مرتبط با تغییر اقلیم را با سرعت زیاد و هزینه کم پیش بینی نمود (مرادی و همکاران ۲۰۱۳). برای مثال، کوچکی و نصیری محلاتی (۲۰۰۸) تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی کشور را با استفاده از مدل SUCROS و دو مدل گردش

دیم تأمین شود (زارع و همکاران ۲۰۰۶). در پاسخ به این نیاز بایستی عملکرد گندم افزایش یابد و تغییرات اقلیمی می‌تواند چالشی در مسیر رسیدن به این هدف باشد.

تغییر اقلیم بر اساس تعریف کنوانسیون چارچوب تغییر اقلیم سازمان ملل<sup>۱</sup> (UNFCCC)، به تغییر در شرایط اقلیمی گفته می‌شود که به طور مستقیم یا غیرمستقیم به فعالیت‌های انسانی، که موجب تغییر در ترکیبات اتمسفر می‌شود، وابسته است که علاوه بر تغییرپذیری اقلیمی طبیعی، در طول دوره‌های زمانی متفاوت قابل مقایسه است. تغییرات اقلیمی پیش بینی شده در ارتباط با افزایش غلظت اتمسفری گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن در تغییر میزان و پراکنش فصلی الگوهای بارش و دما در بسیاری از مناطق دنیا به خوبی پذیرفته شده است (هیئت بین الدول تغییر اقلیم ۲۰۱۴).

نتایج ذکر شده در گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم (۲۰۱۴) نشان می‌دهد که از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲، میانگین دمای جهانی ۱/۰۶-۰/۶۵ درجه سانتی-گراد افزایش یافته است و پیش بینی می‌شود که تا سالهای ۲۱۰۰-۲۰۸۱ در مقایسه با سالهای ۲۰۰۵-۱۹۸۶ میانگین دما تحت سناریوهای پایین انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱/۷-۰/۳ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوهای بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای ۴/۸-۲/۶ درجه سانتی-گراد افزایش یابد همچنین در این گزارش بیان شده است که در میان گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن دارای بیشترین اثر تابشی بوده و بر موازنه تابشی و در نتیجه موازنه گرمایی کل زمین تأثیر می‌گذارد. متغیرهای اقلیمی به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی در فرایند تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شوند و هر گونه تغییر و تنوع در این متغیرها از جمله غلظت دی-اکسیدکربن جوی، دما و بارش می‌تواند اثرات معناداری بر فنولوژی، رشد و عملکرد محصولات زراعی داشته باشد (بابائیان و کوهی ۲۰۱۲، دیهیم فرد و همکاران، ۲۰۱۷؛ رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۱۷، کوماگای و سامشیما ۲۰۱۴).

<sup>1</sup> United Nations Framework Convention on Climate Change

با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه در آینده ارائه خواهد شد.

### مواد و روش ها

#### منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

این تحقیق در شش شهرستان از استان خراسان رضوی شامل قوچان، گناباد، مشهد، سبزوار، تربت-حیدریه و تربت جام انجام شد (جدول ۱). استان خراسان رضوی براساس طبقه بندی دومارتن جزء اقلیم های خشک و نیمه خشک محسوب می شود و با مختصات جغرافیایی  $33^{\circ}$  و  $52^{\circ}$  تا  $37^{\circ}$  و  $42^{\circ}$  شمالی و  $56^{\circ}$  و  $19^{\circ}$  تا  $61^{\circ}$  و  $16^{\circ}$  شرقی در شمال شرقی ایران قرار دارد. دلایل انتخاب این استان برای این تحقیق سطح بالای کشت گندم آبی و نیز تنوع و گوناگونی آب و هوایی آن می باشد. استان خراسان رضوی با  $181,402$  هکتار سطح زیر کشت گندم آبی و تولید  $8/3$  درصد از کل گندم آبی کشور در سال زراعی  $94-93$  دارای رتبه سوم کشور بوده است (احمدی و همکاران  $2016$ ). میانگین دما و بارندگی سالانه این استان به ترتیب در حدود  $14/5$  درجه سانتی گراد و  $250$  میلی متر می باشد (مرادی و همکاران  $2013$ ).

آمار مربوط به داده های اقلیمی در دوره پایه (سال  $1980$  تا  $2010$ ) از بانک آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. داده های برداشت شده از این آمار شامل دمای کمینه و بیشینه ( $^{\circ}C$ )، بارندگی (mm) و ساعت آفتابی بودند. در ابتدا با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی، تابش روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم تخمین زده شد (پرسکات  $1940$ ) و سپس داده های پرت و گم شده در ایستگاه های مختلف با استفاده از برنامه WeatherMan اصلاح و بازسازی شد (هوکنبوم و همکاران  $2004$ ).

#### پیش بینی اقلیم آینده، سناریوها و مدل اقلیم

IPCC در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید به عنوان نماینده های خطوط

عمومی GISS و GFDL مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که میانگین دمای سالانه کشور در آینده افزایش خواهد یافت و علیرغم تأثیر نسبی افزایش  $CO_2$ ، عملکرد گندم آبی بسته به مناطق مختلف تولید و نوع مدل گردش عمومی بکار رفته در دامنه ای بین  $13$  تا  $28$  درصد برای سال  $2050$  میلادی کاهش خواهد داشت. از سوی دیگر نتایج شبیه سازی های چو و همکاران ( $2012$ ) با استفاده از مدل CERES-Wheat در انگلیس نشان داد که افزایش دما موجب افزایش سرعت رشد گندم در آینده می شود و این تغییرات به همراه افزایش غلظت  $CO_2$  موجب افزایش عملکرد در برخی از مناطق مورد مطالعه و کاهش عملکرد در برخی دیگر از مناطق خواهد شد. سامر و همکاران ( $2013$ ) نیز از مدل گیاهی CropSyst و دو سناریوی اقلیمی (A1B و A2) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در مناطق مرکزی آسیا استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در این مناطق، عملکرد گندم به طور میانگین  $12$  درصد افزایش خواهد یافت. آنها افزایش دما را مهمترین عامل برای افزایش سرعت رشد گندم و تجمع ماده خشک و در نتیجه افزایش عملکرد دانستند.

یانگ و همکاران ( $2014$ ) نیز اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در شش سایت در شرق استرالیا را شبیه سازی کردند. نتایج شبیه سازی آنها نشان داد که در سال  $2021-2040$  نسبت به  $1990-1961$  و بر اساس سناریوی انتشار A2، تاریخ گلدهی در تمام سایت ها به طور میانگین  $11$  روز زودتر رخ داده و تفاوت عملکرد میان دوره پایه و آینده از  $3/4$  + درصد تا  $14/7$  - درصد متغیر خواهد بود. آنها نشان دادند که مقدار تأثیر تغییر اقلیم بین انواع خاک ها و مکان ها به طور قابل توجهی متفاوت می باشد.

هدف از انجام این تحقیق پیش بینی پارامتر اقلیمی دما در شرایط آینده استان خراسان رضوی به عنوان یک استان گندم خیز و شبیه سازی اثرات تغییر توامان دما و  $CO_2$  بر رشد و نمو گندم، تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در این استان است. همچنین راهکارهای سازگاری

## مدل شبیه‌سازی رشد و عملکرد گندم و تیمارهای شبیه‌سازی

به منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم از مدل APSIM-Wheat که قبلاً در شرایط محدودیت آبی توسط محققین در منطقه مورد مطالعه، واسنجیو اعتبارسنجی شده بود (دیهم فرد و همکاران ۲۰۱۵)، استفاده شد. شبیه‌ساز سیستم‌های تولید کشاورزی<sup>۴</sup> (APSIM) توسط محققین استرالیایی توسعه یافته و قادر است اثرات آب و هوا، ژنوتیپ، مشخصات خاک، همچنین اثرات فاکتورهای مدیریتی روی رشد و نمو گیاه و تعادل آب و نیتروژن خاک را به صورت روزانه شبیه‌سازی کرده و در نهایت عملکرد را پیش بینی کند (کیتینگ و همکاران ۲۰۰۳).

یکی از کاربردهای این مدل، استفاده در شبیه‌سازی پاسخ گیاه به تغییرات اقلیمی در بلند مدت است. در این راستا داده‌های اقلیمی روزانه شامل تشعشع، بارندگی و دمای حداکثر و حداقل برای دوره‌های پایه و ۲۰۵۰، به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شدند. به منظور شبیه‌سازی اثرات خالص تغییر اقلیم بر گندم آبی، غلظت CO<sub>2</sub> جوی نیز یکی از ورودی‌های مدل بود. به همین منظور غلظت CO<sub>2</sub> برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) ۳۶۰ پی پی ام و برای دوره ۲۰۵۰ تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۴۸۷ و ۵۴۱ پی پی ام در نظر گرفته شد (مینشازن و همکاران ۲۰۱۱).

از دیگر ورودی‌های مدل مشخصات خاک و پارامترهای مربوط به رقم (چمران) بودند، که داده‌های مربوط به آنها پیشتر توسط محققین از مناطق مورد مطالعه جمع‌آوری شده بود (دیهم فرد و همکاران ۲۰۱۵). پارامترهای خاکی مورد نیاز مدل با استفاده از برنامه تخمین پارامترهای خاک (SOILPAR) برآورد شده بودند. این پارامترها شامل مقدار رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (LL)، مقدار رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (DUL) و مقدار آب خاک در حالت اشباع

سیرغلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها (برحسب وات بر متر مربع) در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند. در این تحقیق، داده‌های اقلیمی آینده (۲۰۶۹-۲۰۴۰) بر اساس داده‌های اقلیمی دوره پایه (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش) و تحت دو سناریوی اقلیمی (RCP4.5 و RCP8.5) تولید شدند. در RCP8.5، بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم تا سال ۲۱۰۰، دما تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و غلظت دی اکسید کربن به ۱۳۷۰ پی پی ام خواهد رسید. در حالیکه در RCP4.5 با کاهش واداشت تابشی، میزان افزایش دی اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ در ۶۵۰ پی پی ام ثابت شده و میزان افزایش دما ۲/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (وین ۲۰۱۴). پیش بینی اقلیم آینده با استفاده از مدل گردش عمومی (GCM<sup>۲</sup>) (MPI-ESM-MR<sup>۲</sup>) انجام شد. این مدل، براساس یافته‌های پژوهش قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) در میان ۳۷ مدل انتخاب شده از CMIP5، دارای بیشترین دقت برای تولید داده‌های دما و بارش برای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۰ برای شرایط ایران بوده است.

سناریوهای اقلیمی با استفاده از روش سناریوی دلتا و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی (کدهای نوشته شده به زبان R) که توسط AgMIP<sup>۳</sup> ارائه شده‌اند، و در فرمت مورد نیاز برای APSIM، تولید شدند (ویلی و همکاران ۲۰۰۴ و هادسون و روان ۲۰۱۳). در روش دلتا، سناریوهای اقلیمی با استفاده از داده‌های بلند مدت دوره پایه و بر اساس تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارندگی تولید می‌شوند (ویلی ۲۰۰۴).

<sup>4</sup> The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project

<sup>5</sup> Agricultural Production Systems Simulator

<sup>1</sup> Representative Concentration Pathway

<sup>2</sup> Global Circulation Models

<sup>3</sup> Max Planck Institute- Earth system model-MR

## نتایج و بحث

### عملکرد دانه گندم در دوره پایه

نتایج نشان داد که بین شهرستان‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب در دوره پایه تفاوت وجود دارد (شکل ۱). بیشترین و کمترین عملکرد شبیه‌سازی شده در این دوره مربوط به شهرستان‌های تربت‌حیدریه و سبزوار بود. در این دو شهرستان میزان عملکرد دانه آب محدود به ترتیب ۷/۸ و ۶/۲ تن در هکتار بدست آمد. پس از تربت‌حیدریه، قوچان با ۷/۲ تن در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه در هکتار بوده و در شهرستان‌های گناباد، تربت‌جام و مشهد نیز عملکرد دانه در محدوده ۶/۷ تا ۶/۵ تن در هکتار بدست آمد. از سوی دیگر نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد (جدول ۲) در حالیکه که میانگین ۳۰ سال دما در طول فصل رشد در تمام شهرستان‌های مورد بررسی برای دوره پایه ۹/۷۹ درجه سانتی‌گراد بود، بیشترین میانگین دما در این دوره، برای شهرستان سبزوار (۱۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد) و کمترین میانگین دما نیز برای شهرستان‌های قوچان (۸/۳۴) و تربت‌حیدریه (۸/۹۵ درجه سانتی‌گراد) بدست آمد. این در حالی است که در مورد طول دوره رشد این روند برعکس بوده و برای سبزوار کمترین طول دوره رشد (۱۹۳/۹ روز) و برای قوچان و سبب تربت‌حیدریه بیشترین طول دوره رشد (به ترتیب ۲۴۹/۵ و ۲۳۹/۱ روز) شبیه‌سازی شد. بنابراین در میان شهرستان‌های مورد مطالعه، دمای پایین‌تر و دوره رشد طولانی‌تر موجب تولید عملکرد بالاتر گندم آبی زمستانه در دوره پایه شده است.

علاوه بر آن به نظر می‌رسد که بارندگی تجمعی بیشتر در طول دوره رشد (جدول ۲) و تعداد دفعات آبیاری بالا (جدول ۱) و در نتیجه تأمین مطلوب نیاز آبی گندم در طول دوره رشد نیز می‌تواند عاملی برای تولید عملکرد دانه بالاتر در شهرستان‌های تربت‌حیدریه و قوچان نسبت به شهرستان‌های دیگر باشد.

(SAT) هستند که بر اساس بافت و وزن مخصوص ظاهری خاک محاسبه می‌شوند. رقم چمران یکی از ارقام رایج گندم آبی در استان خراسان رضوی بوده و یک رقم متوسط زودرس، مقاوم به ورس و متحمل به گرما و خشکی آخر فصل می‌باشد (کابلی و همکاران ۲۰۱۲).

سایر ورودی‌های مدل مانند تراکم کاشت گندم ۳۵۰ بوته در متر مربع، فاصله ردیف کاشت ۲۵۰ میلیمتر، عمق کاشت ۵۰ میلیمتر و میزان نیتروژن خاک نیز در شرایط پتانسیل در نظر گرفته شد. برای تعیین میزان آب خاک در شرایط محدودیت آب نیز در ابتدا میزان آب خاک در ابتدای هر فصل رشد به صورت اشباع در نظر گرفته شده و سپس با توجه به میانگین تعداد دفعات آبیاری در هر شهرستان (جدول ۱) (دیهیم فرد و همکاران ۲۰۱۵)، انجام آبیاری در مدل در هر یک از مراحل حساس نمودی کد نویسی شد.

از دیگر فاکتورهای مدیریتی مؤثر بر رشد و نمو گیاه تاریخ کاشت می‌باشد. در این تحقیق تاریخ کاشت مرسوم در هر شهرستان از طریق مکاتبات با مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تعیین و به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد و سپس به منظور تعدیل اثرات منفی احتمالی تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گندم و تعیین بهترین تاریخ کاشت در شرایط افزایش دما و  $CO_2$ ، تغییر تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار سازگاری در نظر گرفته شد. در این راستا علاوه بر تاریخ کاشت مرسوم در هر شهرستان به عنوان شاهد، تاریخ کاشت‌های دو هفته زودتر و دیرتر از آن، برای ارزیابی میزان سازگاری مورد استفاده قرار گرفتند. با در نظر گرفتن یک رقم، سه تاریخ کاشت، شش منطقه مورد مطالعه، یک دوره پایه و یک دوره آینده تحت دو سناریوی RCP و متوسط ۳۰ سال داده‌های اقلیمی بلند مدت، تعداد ۱۶۲۰ آزمایش شبیه‌سازی با مدل انجام شد. در این مطالعه برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم افزار R (تیم مرکزی توسعه نرم افزار R ۲۰۱۶) استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی، میانگین دمای سالانه و میزان بارندگی تجمعی سالانه شهرستان‌های مورد مطالعه و تعداد دفعات آبیاری در هر شهرستان

منطقه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	تعداد دفعات آبیاری	میانگین دمای سالانه (°C)	بارندگی تجمعی سالانه (mm)
قوچان	۳۷°۴'	۵۸°۳'	۱۲۸۷	۶	۱۲/۷	۳۰۸/۴
گناباد	۳۴°۲'	۵۸°۴'	۱۰۵۶	۹	۱۷/۴	۱۳۷/۴
مشهد	۳۶°۲'	۵۹°۴'	۹۹۹	۵	۱۴/۳	۲۵۱/۵
سبزوار	۳۶°۱'	۵۷°۴'	۹۷۲	۶	۱۷/۵	۱۸۶/۶
ترتیدریه	۳۵°۲'	۵۹°۱'	۱۴۵۱	۹	۱۴/۳	۲۶۷/۷
ترتیدجام	۳۵°۲'	۶۰°۴'	۹۵۰	۹	۱۵/۷	۱۷۲/۸

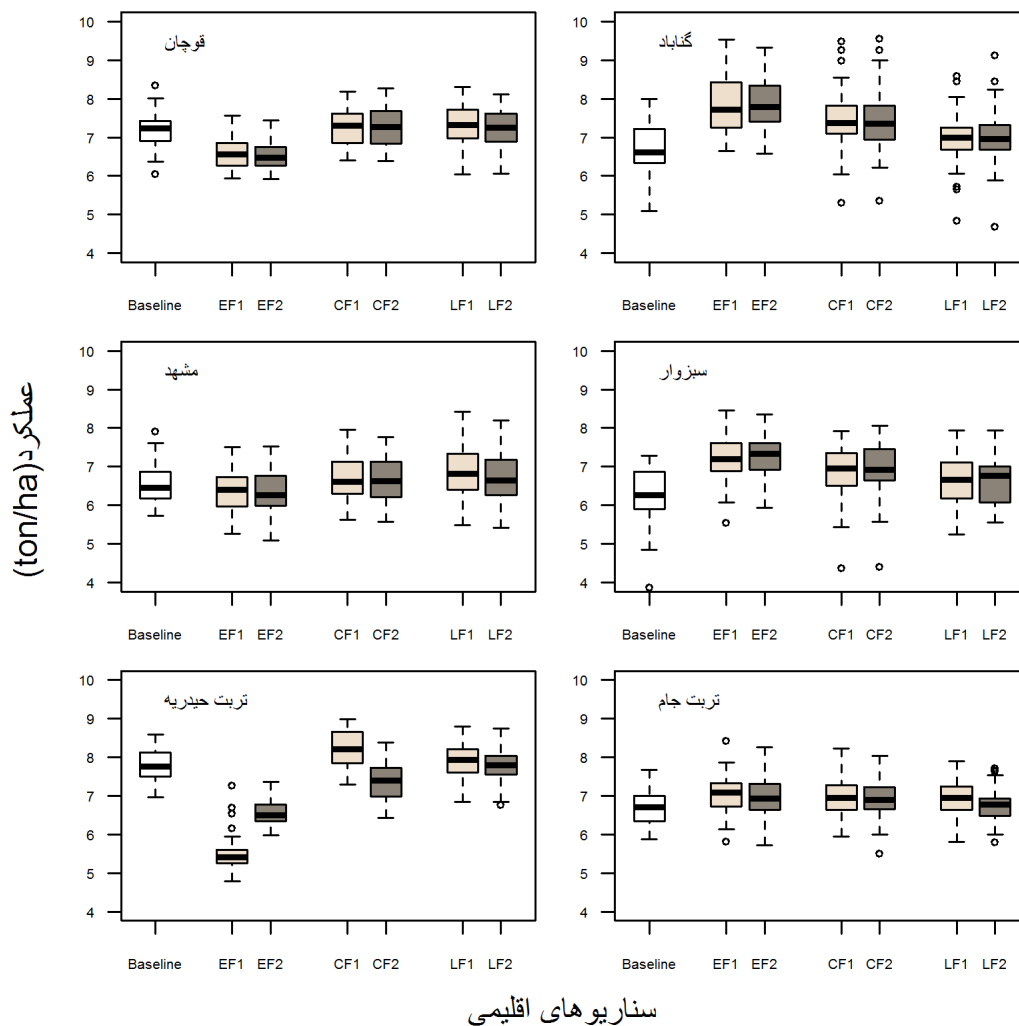
جدول ۲- مشخصات اقلیمی (میانگین دما و بارندگی تجمعی) و طول دوره رشد شبیه‌سازی شده در دوره پایه و تغییرات مطلق دما و تغییرات نسبی بارندگی در آینده (۲۰۵۰)

منطقه	دوره پایه		تغییرات اقلیمی در آینده نسبت به دوره پایه			
	میانگین دما (°C)	بارندگی (mm)	RCP4.5	RCP8.5	دما (°C)	بارندگی
قوچان	۸/۳۴	۲۹۳	۱/۴۴	-۰/۰۱	۱/۸۱	-۰/۰۵
گناباد	۱۰/۹۰	۱۲۹	۱/۲۸	-۰/۱۴	۱/۷۱	-۰/۱۵
مشهد	۹/۴۷	۲۴۲	۱/۴۶	۰/۰۱	۱/۸۱	-۰/۰۲
سبزوار	۱۱/۰۸	۱۷۷	۱/۴	-۰/۰۱	۱/۸	-۰/۰۱
ترتیدریه	۸/۹۵	۲۵۴	۱/۴۸	-۰/۰۸	۱/۹۸	-۰/۱۲
ترتیدجام	۱۰/۰۰	۱۳۷	۱/۴۲	-۰/۰۶	۱/۸۴	-۰/۰۸

### تغییرات عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم آینده

شکل ۲، درصد تغییرات عملکرد دانه در سال ۲۰۵۰ را در ۶ شهرستان و در مقایسه با دوره پایه نشان می‌دهد. هر چند درصد تغییرات در بین شهرستان‌ها متفاوت بود، ولی به طور کلی عملکرد در اکثر نقاط افزایش یافت. بیشترین افزایش مربوط به شهرستان‌های

سبزوار و گناباد بود. عملکرد در سبزوار تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۲/۹ درصد و در گناباد به ترتیب ۱۱/۵ و ۱۱/۲ درصد افزایش یافت. در ترتیدریه حیدریه تغییرات عملکرد به صورت کاهشی و تحت هر دو RCP به ترتیب ۳/۴- و ۴/۸- درصد بود. کمترین میزان تغییرات عملکرد نسبت به دوره پایه نیز در قوچان بود که به ترتیب ۱/۵ و ۱ درصد افزایش داشت.



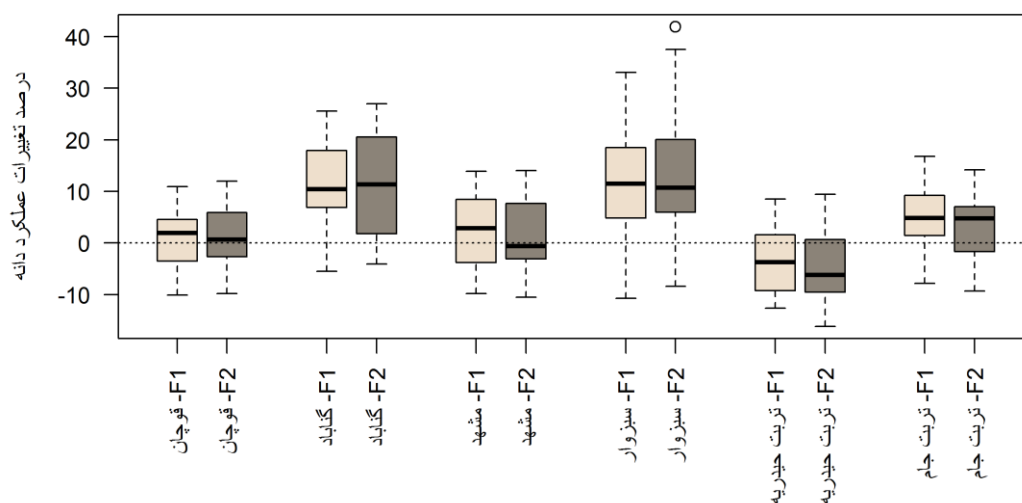
سناریوهای اقلیمی

شکل ۱- عملکرد دانه گندم در دوره پایه (Baseline) در شش شهرستان مورد مطالعه و مقایسه آن با دوره آینده تحت (F2) RCP8.5 و (F1) RCP4.5 در سه تاریخ کاشت: متداول در هر شهرستان (C)، دو هفته زودتر از تاریخ کاشت متداول (E) و دو هفته دیرتر از تاریخ کاشت متداول (L)

زمستانه را نشان داده‌اند. نتایج این مطالعات بیان می‌کنند که دمای بالاتر در زمستان به همراه افزایش غلظت  $CO_2$  جوی باعث افزایش سرعت فتوسنتز و نیز افزایش کارایی مصرف آب در گندم شده و در نتیجه بیوماس گیاه و عملکرد محصول افزایش می‌یابد.

در تعدادی تحقیق انجام شده، بر خلاف نتایج بدست آمده در این پژوهش، تغییرات اقلیمی موجب کاهش عملکرد گندم شده است (پاری و همکاران ۲۰۰۴ و ژائو و همکاران ۲۰۰۸ و رحمانی و همکاران ۲۰۱۶). از سوی دیگر تعداد زیادی از مطالعات محیطی (ویلر و همکاران ۱۹۹۶ و دیجکسترا و همکاران ۱۹۹۹) و مطالعات برپایه مدل‌سازی (غفاری و همکاران ۲۰۰۲ و ساتورث و همکاران ۲۰۰۲ و چو و همکاران ۲۰۱۲ و سامر و همکاران ۲۰۱۳) اثرات مثبت تغییر اقلیم بر گندم





شکل ۲- درصد تغییرات عملکرد دانه گندم در سال ۲۰۵۰ در مقایسه با پایه، تحت (F1) RCP4.5 و (F2) RCP8.5

زمستانه از ۰/۷ تا ۹/۴ درصد در سه دهه گذشته افزایش یافته و نیز دمای میانگین با دوره رشد گندم رابطه منفی داشته و با افزایش دما سرعت رشد گندم افزایش یافته است. سامر و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه خود افزایش دما در اثر تغییر اقلیم را مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر انواع گندم های زمستانه و بهاره در آسیای مرکزی دانستند. زیرا باعث رشد زودتر و سریع‌تر محصول و تجمع بیومس و عملکرد شده و نیز دماهایی بالاتر زمستان و بهار باعث کاهش آسیب یخبندان می‌شود. آنها بیان کردند که افزایش غلظت  $CO_2$  جوی به این اثرات مثبت اضافه شده و تولید بیومس و عملکرد را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر به نظر می‌رسد که طول دوره رشد کوتاهتر در آینده در برخی مناطق می‌تواند مانع برخورد دوره پر شدن دانه با تنش دمایی آخر فصل باشد (تائو و ژانگ ۲۰۱۳).

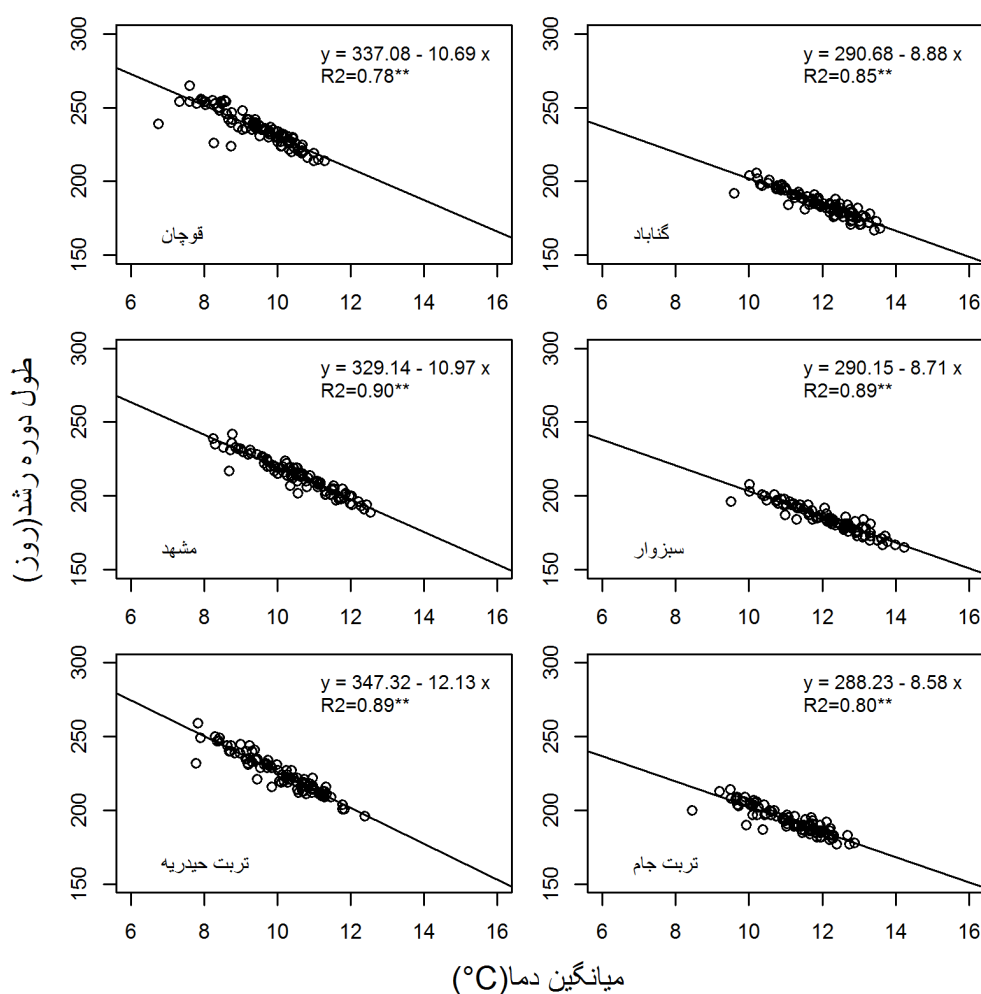
در این مطالعه نیز بررسی رابطه بین طول فصل رشد گندم و میانگین دمای طول فصل رشد نشان داد که بین این دو صفت در تمام شهرستان‌های مورد مطالعه ارتباط معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳). بیشترین واکنش طول دوره رشد به میانگین دمای طول فصل رشد در

در این تحقیق نتایج شبیه‌سازی‌ها همچنین نشان داد (جدول ۲) که هرچند تغییرات دمایی با توجه به شهرستان‌ها و سناریوهای مختلف، متفاوت بود ولی به طور کلی میانگین تغییرات دمای طول فصل رشد در منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۵۰ تحت RCP4.5 و RCP8.5 افزایشی و به ترتیب برابر با ۱/۴۱ و ۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد بود ( ۱۴/۴ و ۱۸/۶ درصد افزایش نسبت به دوره پایه). نتایج تحقیق کوچکی و نصیری محلاتی (۲۰۰۸) نیز نشان داده است که میانگین افزایش درجه حرارت سالانه در مناطق مختلف کشور تا سال ۲۰۵۰، در محدوده ۲/۵ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشته و شدت افزایش دما از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور افزایش می‌یابد. پیش‌بینی‌های انجام شده توسط چهار مدل گردش عمومی جو در تحقیق اوزدوگان (۲۰۱۱) نیز حاکی از یک الگوی پایدار برای افزایش میانگین دمای هوا در طول فصل رشد گندم زمستانه در شمال شرقی ترکیه بود.

نتایج تحقیق دیگری (تائو و همکاران ۲۰۱۴) نیز نشان داد که با افزایش هر ۱ درجه سانتی‌گراد میانگین دما در طول دوره رشد در مناطق شمالی چین، عملکرد گندم

سال ۲۰۵۰ نسبت به پایه در تمامی شهرستان‌های مورد بررسی افزایش یافته و طول دوره رشد کاهش یافت. دامنه تغییرات این کاهش در شهرستان‌های مورد بررسی متفاوت بوده و از ۱۳ روز (شهرستان سبزواری و RCP4.5) تا ۲۴/۶ روز (شهرستان تربت‌حیدریه و RCP8.5) متغیر بود.

تربت‌حیدریه مشاهده شد. در این شهرستان به ازای افزایش هر یک درجه سانتیگراد میانگین دما تا سال ۲۰۵۰، تحت هر دو سناریوی RCP، طول دوره رشد ۱۲/۱۳ روز کاهش خواهد یافت. کمترین میزان کاهش در طول دوره رشد به ازای هر درجه افزایش دما نیز در تربت‌جام و پس از آن سبزواری مشاهده شد که به ترتیب ۸/۵۸ و ۸/۷۱ روز بود. بنابراین سرعت رشد گندم در



شکل ۳- ارتباط بین میانگین دمای طول فصل رشد و طول دوره رشد گندم در آینده (۲۰۵۰)

در بازه زمانی کاشت تا گلدهی تحت هر دو RCP در تربت‌حیدریه (به ترتیب ۲۴/۵ و ۳۰/۴ روز) و کمترین کاهش در گناباد (به ترتیب ۱۳/۲ و ۱۷ روز) و پس از آن در سبزواری (به ترتیب ۱۴/۶ و ۱۷/۶ روز) مشاهده شد. دما مؤثرترین پارامتر بر طول دوره رشد (کوچکی و

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در آینده علاوه بر طول دوره رشد گندم زمستانه، میانگین فاصله زمانی کاشت تا گلدهی نیز کاهش می‌یابد (شکل ۴). میزان این کاهش، در تمامی مناطق، تحت RCP8.5 در مقایسه با RCP4.5 دارای شدت بیشتری بوده و بیشترین کاهش

رویش به وجود زمان کافی برای انتقال مواد به دانه بستگی دارد (کوچکی و نصیری محلاتی ۲۰۰۸). چالینور و همکاران (۲۰۰۷) و تائو و همکاران (۲۰۰۶) نیز در تحقیقات خود مهمترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تغییر اقلیم را کاهش طول دوره پرشدن دانه دانسته اند.

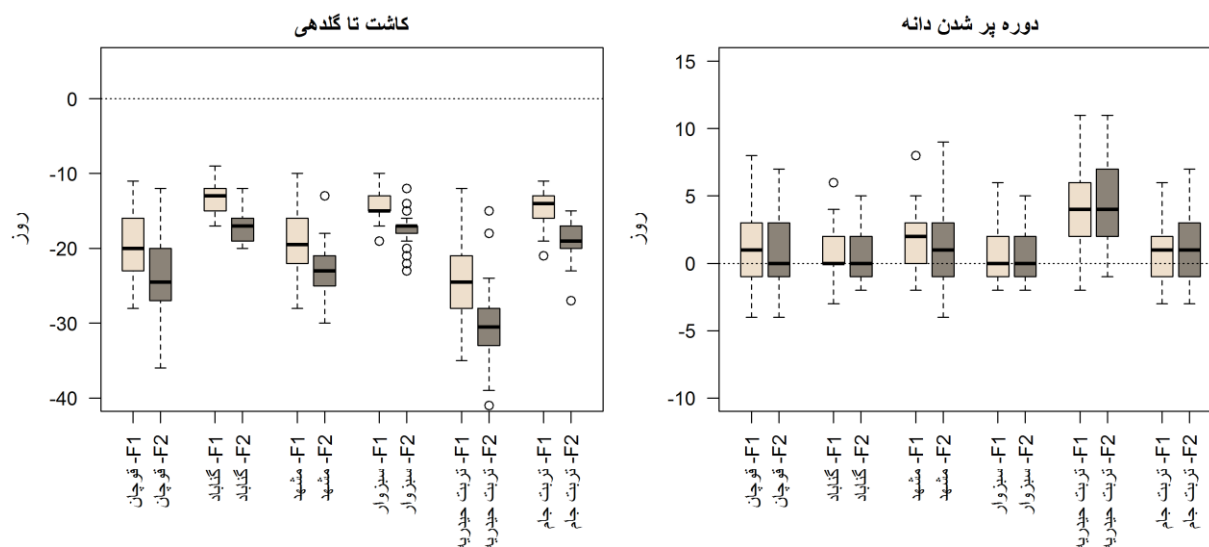
لازم به ذکر است که در این تحقیق اثرات تغییر اقلیم شامل افزایش توامان دما و غلظت CO<sub>2</sub> جوی در نظر گرفته شد. در صورتیکه فقط افزایش دما در آینده در نظر گرفته شود، به دلیل اینکه ممکن است طول فصل مناسب برای رشد گندم کاهش یافته و به همراه آن دمای زمستان نیز برای نمو گندم مناسب نبوده و دوره سرمادهی مطلوب حاصل نشود، احتمال کاهش عملکرد در آینده وجود دارد (چائو و همکاران ۲۰۱۲).

#### تغییر تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار سازگاری

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که عملکرد دانه گندم در شهرستان‌های گناباد و سبزوار در دوره آینده نسبت به دوره پایه و تاریخ کاشت مرسوم، در هر دو RCP به طور میانگین ۱۱/۴ و ۱۱ درصد افزایش خواهد یافت. حال آنکه نتایج نشان داد تاریخ کاشت دوهفته زودتر در آینده در این دو شهرستان به ترتیب موجب افزایش ۱۶/۵ و ۱۷/۲ درصدی عملکرد خواهد شد. در تربت‌حیدریه، هر چند در تاریخ کاشت مرسوم، در آینده عملکرد به طور میانگین ۴/۲ درصد کاهش یافت، ولی تاریخ کاشت دو هفته دیرتر از مرسوم موجب افزایش ۱/۴ درصدی عملکرد خواهد شد. احتمالاً افزایش عملکرد از طریق تغییر تاریخ کاشت به علت تطبیق بهتر دوره رشدی گیاه با فصل رشد می باشد که در اثر تغییر اقلیم جابجا شده است (حاجی پور و همکاران ۲۰۱۶). نتایج تحقیقات دیگر (لو و همکاران ۲۰۰۹ و مونتزینو سان مارتین و همکاران ۲۰۱۴) نیز نشان داده اند که تغییر تاریخ کاشت یک راهکار سازگاری مؤثر برای مقابله با اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد گندم زمستانه می‌باشد.

نصیری محلاتی (۱۳۸۷) و طول بازه زمانی کاشت تا گلدهی می‌باشد (هو و همکاران ۲۰۰۵) و طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق نیز شهرستان‌های تربت‌حیدریه و گناباد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تغییرات در میانگین دما در آینده نسبت به پایه بودند. از سوی دیگر همان‌طور که قبلاً ذکر شد بیشترین افزایش عملکرد را در شهرستان‌های سبزوار و گناباد شاهد بودیم و در تربت‌حیدریه نیز تغییرات عملکرد کاهشی بود.

نتایج شبیه‌سازی‌ها هم‌چنین نشان داد که با وجود اینکه طول دوره رشد و نیز بازه زمانی کاشت تا گلدهی گندم زمستانه در تمامی شهرستان‌ها در دوره آینده نسبت به پایه کاهش یافت ولی طول دوره پر شدن دانه در تمام شهرستان‌ها و تحت هر دو RCP افزایش نشان داد (شکل ۴). بیشترین تغییرات در طول دوره پر شدن دانه گندم مربوط به تربت‌حیدریه بود که تحت RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۴/۸ و ۴/۴ روز افزایش داشت. کمترین افزایش نیز تحت RCP4.5 مربوط به شهرستان گناباد (۰/۷ روز) و تحت RCP8.5 مربوط به شهرستان تربت‌جام (۰/۲ روز) بود. مجموع تغییرات نمودی در شهرستان‌های مختلف می‌تواند تغییرات عملکرد را توجیه کند. در تحقیق چو و همکاران (۲۰۱۲) علاوه بر افزایش سرعت رشد گندم زمستانه در انگلیس و کاهش فاصله زمانی کاشت تا گلدهی، دوره پر شدن دانه نیز کاهش یافت، ولی میزان تغییرات دوره زایشی کمتر از دوره رویشی بود. بنابراین هر چند تغییر اقلیم سرعت فتوسنتز و نمو گیاه را افزایش می‌دهد، ولی به نظر می‌رسد که طول دوره زایشی کمتر از طول دوره رویشی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و باروری گندم از افزایش فتوسنتز ناشی از تغییر اقلیم و افزایش CO<sub>2</sub> بهره می‌برد (تائو و ژانگ ۲۰۱۳). به بیان دیگر اگر چه پتانسیل وزن دانه ظاهراً قبل از گرده‌افشانی تعیین می‌شود ولی اینکه دانه‌ها بعداً به چه میزانی پر می‌شوند به شرایط حاکم در زمان پرشدن دانه بستگی دارد (عبداللهی ۲۰۱۶) و حصول عملکرد مطلوب علاوه بر تجمع ماده خشک در طول فصل



شکل ۴- تغییرات فاصله زمانی کاشت تا گلدهی و نیز طول دوره پر شدن دانه در شهرستان‌ها و سناریوهای مختلف (F2:RCP8.5 و F1: RCP4.5) در آینده نسبت به دوره پایه

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر گندم زمستانه در شرایط محدودیت آب در خراسان رضوی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان می‌دهند میانگین دمای طول فصل رشد در تمام شهرستان‌ها در آینده افزایش پیدامی‌کند. با وجود اینکه میزان تغییرات دمایی در شهرستان‌های با دمای پایه بالاتر، کمتر است ولی همچنان بیشترین دما در دوره آینده مربوط به این شهرستان‌ها می‌باشد. تغییرات عملکرد دانه گندم در آینده در تمامی شهرستان‌ها به غیر از تربت حیدریه افزایشی می‌باشد و به طور کلی در شهرستان‌های با دمای پایه بالاتر و تغییرات دمایی کمتر در آینده، افزایش عملکرد بیشتر است. همزمان با افزایش دما در شهرستان‌های مورد مطالعه طول دوره رشد گندم و نیز فاصله زمانی کاشت تا گلدهی کاهش می‌یابد. برخلاف طول دوره رشد و فاصله زمانی کاشت تا گلدهی، طول دوره پر شدن دانه در تمامی شهرستان‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد با وجود افزایش سرعت رشد گندم، افزایش طول دوره زایشی موجب

بنابراین هر چند در بقیه شهرستان‌ها تغییرات عملکرد در اثر تغییر تاریخ کاشت کمتر از ۱ درصد شبیه‌سازی شد، ولی به طور کلی در شهرستان‌های با دمای پایه بالاتر، تاریخ کاشت دو هفته زودتر و در شهرستان‌های با دمای پایه کمتر، تاریخ کاشت دو هفته دیرتر موجب افزایش بیشتری در عملکرد گندم زمستانه خواهد شد که این نتیجه با نتایج تحقیق چو و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد.

به طور کلی با تغییر تاریخ کاشت در آینده، میانگین افزایش عملکرد در همه شهرستان‌های مورد بررسی، ۲/۵ درصد بیشتر از تاریخ کاشت مرسوم شبیه‌سازی شد. بنابراین از آنجایی که در حال حاضر، سطح زیر کشت گندم آبی در استان خراسان رضوی بیش از ۱۸۰ هزار هکتار (رتبه سوم در کشور) می‌باشد (احمدی و همکاران ۲۰۱۶)، تغییر تاریخ کاشت در آینده، در تأمین امنیت غذایی منطقه دارای اهمیت بسزایی می‌باشد.

استان خراسان رضوی، تغییر تاریخ کاشت به عنوان یک راهکار سازگاری ضروری به نظر نمی‌رسد، ولی با توجه به افزایش جمعیت در آینده و احتمال کاهش منابع آبی در دسترس برای تولید گندم آبی، افزایش هر چه بیشتر عملکرد این محصول استراتژیک، امکان ایجاد امنیت غذایی را افزایش می‌دهد.

افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های فوقانی گیاه و افزایش عملکرد می‌شود. با این وجود در برخی مناطق مانند تربت حیدریه افزایش طول دوره زایشی توان جبران کاهش طول دوره رویشی را نداشته و در نهایت عملکرد کاهش می‌یابد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که هرچند با توجه به افزایش عملکرد در اکثر شهرستان‌ها در آینده

#### منابع مورد استفاده

- Abdulahi A, 2016. Effect of different crop rotations on grain yield and some agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in dryland conditions of Kermanshah. *Journal of Agroecology*, 8: 373-384. (In Persian).
- Ahmadi K, Gholizadeh H, Ebadzadeh H, Hatami F, Fazli M, Hosseinpour R, Kazemian A and Rafiei M, 2016. Agricultural products statistics. Ministry of Agriculture, Department of Planning and Economy, Center for Information and Communication Technology, 163.
- Babaeian I and Kouhi M, 2012. Agroclimatic indices assessment over some selected weather station of Khorasan Razavi province under climate change scenarios. *Journal of Water and Soil*, 26: 953-967. (In Persian).
- Challinor A, Wheeler T, Craufurd P, Ferro C and Stephenson D, 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119: 190-204.
- Cho K, Falloon P, Gornall J, Betts R and Clark R, 2012. Winterwheat yields in the UK: uncertainties in climate and management impacts. *Climate Research*, 54: 49-68.
- Deihimfard R, Mahallati MN and Koocheki A, 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research*, 184: 28-38.
- Deihimfard R, Eyni Nargeseh H, Farshadi Sh. 2017. Modelling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency in wheat fields of Khuzestan province. 31(4): 1015-1030. *Journal of Water and Soil*. (In Persian).
- Dijkstra P, Schapendonk A, Groenwold K, Jansen M and Van De Geijn SC, 1999. Seasonal changes in the response of winter wheat to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration grown in Open-Top Chambers and field tracking enclosures. *Global Change Biology*, 5: 563-576.
- Drake BG, González-Meler MA, Long SP, 1997. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub> *Annual Review of Plant Biology*, 48: 609-639.
- Eyni Nargeseh, H, Rahimi Moghaddam S, Deihimfard R, Mokhtassi-Bidgoli A, 2017. Assessment of yield and crop water Requirement in Response to change of planting date under climate change conditions in Kermanshah province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 27 (3): 171-186. (In Persian).
- Ghaffari A, Cook H, Lee H, 2002. Climate change and winter wheat management: a modelling scenario for south-eastern England. *Climatic Change*, 55: 509-533.
- Ghahreman N, Tabatabaei M, Babaeian I, 2015. Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. UN Climate Change Conference. Paris.

- Hajjarpoor A, Meghdadi N, Soltani A, Kamkar B, 2016. Assessment of the Adaptation Strategies in Rainfed Chickpea in Response to Future Climate Change in Zanjan Province. *Journal of Agroecology*, 8: 169-181. (In Persian).
- Hoogenboom G, Jones JW, Wilkens PW, Porter CH, Batchelor WD, Hunt LA, Boote KJ, Singh U, Uryaswv O, Bowen WT, Gijsman A, Du Toit A, White JW and Tsuji GY, 2004. Decision support systems for agrotechnology transfer version 4.0. Computer Model: Decision Support System. CD-ROM.
- Hu Q, Weiss A, Feng S, Baenziger PS, 2005. Earlier winter wheat heading dates and warmer spring in the US Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 135: 284-290.
- Hudson, N., Ruane, A., 2013. Guide for Running AgMIP Climate Scenario Generation Tools with R. AgMIP. Available online: <http://www.agmip.org/wp-content/uploads/2013/10/Guide-for-Running-AgMIPClimate-Scenario-Generation-with>.
- IPCC, 2014. Summary for Policy Makers. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Kaboli M, Tavazoe M, Ahmadifar M and Khanchi M, 2012. Wheat seed multiplication and supplying program. Ministry of Agriculture, Department of plant production, 208. (In Persian).
- Keating BA, Carberry PS, Hammer GL, Probert ME, Robertson MJ, Holzworth D, Huth NI, Hargreaves JN, Meinke H and Hochman Z, 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18: 267-288.
- Koocheki A and Nassiri Mahalati M, 2008. Impacts of climate change and CO<sub>2</sub> concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Field Crops Research*, 6: 139-153. (In Persian).
- Krishnan P, Swain D, Bhaskar BC, Nayak S and Dash R, 2007. Impact of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122: 233-242.
- Kumagai E and Sameshima R, 2014. Genotypic differences in soybean yield responses to increasing temperature in a cool climate are related to maturity group. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198: 265-272.
- Luo Q, Bellotti W, Williams M and Wang E, 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129: 261-267.
- Meinshausen M, Smith SJ, Calvin K, Daniel JS, Kainuma MLT, Lamarque JF, Matsumoto K, Montzka SA, Raper SCB, Riahi K, Thomson A, Velders GJM and van Vuuren DPP, 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109: 213-241.
- Montesino-San Martín M, Olesen JE and Porter JR, 2014. A genotype, environment and management (GxExM) analysis of adaptation in winter wheat to climate change in Denmark. *Agricultural and Forest Meteorology*, 187: 1-13.
- Moradi R, Koocheki A and Nassiri Mahallati M, 2013. Effect of climate change on maize production and shifting of planting date as adaptation strategy in mashhad. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 23: 111-130. (In Persian).
- Özdoğan M, 2011. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141: 1-12.
- Parry ML, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M and Fischer G, 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14: 53-67.

- Prescott J, 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia, 64: 114-118.
- Rahimi Moghaddam S, Kambozia J, Deihimfard R, 2017. Estimation of parameters for some dominant maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for using in APSIM mechanistic model. Electronic Journal of Crop Production. 10 (1): 129-147. (In Persian).
- Rahmani M, Jami Al-Ahmadi M, Shahidi A and Hadizadeh Azghandi M, 2016. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain). Journal of Agroecology, 7: 443-460. (In Persian w).
- 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. European Journal of Agronomy, 32: 91-102.
- Sommer R, Glazirina M, Yuldashev T, Otarov A, Ibraeva M, Martynova L, Bekenov M, Kholov B, Ibragimov N and Kobilov R, 2013. Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 178: 78-99.
- Southworth J, Pfeifer R, Habeck M, Randolph J, Doering O and Rao DG, 2002. Sensitivity of winter wheat yields in the Midwestern United States to future changes in climate, climate variability, and CO<sub>2</sub> fertilization. Climate Research, 22: 73-86.
- Tao F, Yokozawa M, Xu Y, Hayashi Y and Zhang Z, 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. Agricultural and Forest Meteorology, 138: 82-92.
- Tao F and Zhang Z, 2013. Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: A new super-ensemble-based probabilistic projection. Agricultural and Forest Meteorology, 170: 146-165.
- Tao F, Zhang Z, Xiao D, Zhang S, Rötter RP, Shi W, Liu Y, Wang M, Liu F and Zhang H, 2014. Responses of wheat growth and yield to climate change in different climate zones of China, 1981–2009. Agricultural and Forest Meteorology, 189: 91-104.
- Van Ittersum M, Howden S and Asseng S, 2003. Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO<sub>2</sub>, temperature and precipitation. Agriculture, Ecosystems & Environment, 97: 255-273.
- Wang B, Li Liu D, Asseng S, Macadam I and Yu Q, 2015. Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. Agricultural and Forest Meteorology, 209: 11-21.
- Wayne G, 2014. Representative Concentration Pathways. Skeptical science, 24.
- Wheeler T, Batts G, Ellis R, Hadley P and Morison J, 1996. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO<sub>2</sub> and temperature. The Journal of Agricultural Science, 127: 37-48.
- Wilby R, Charles S, Zorita E, Timbal B, Whetton P and Mearns L, 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TG CIA, 27.
- Xiao G, Zhang Q, Yao Y, Zhao H, Wang R, Bai H and Zhang F, 2008. Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid northwestern China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 127: 37-42.
- Zarea A, Koocheki A and Nassiri Mahalati M, 2006. Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. Iranian Field Crops Research, 4: 49-69. (In Persian).