



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۱۷۵-۱۶۱

# ارزیابی ریسک تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)

مهدی دلقندی<sup>۱</sup>، علیرضا مساح بوانی<sup>۲\*</sup>، محمدجعفر آجورلو<sup>۳</sup>، سعید برومندنسب<sup>۴</sup> و بهرام اندرزیان<sup>۵</sup>

۱. استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۳. استادیار گروه جغرافیای نظامی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)
۴. استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۵. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۴/۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸

### چکیده

در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی سبب افزایش غلظت  $CO_2$  شده که این وضعیت، گرمایش زمین و پدیده تغییر اقلیم را در پی داشته شده است. این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم رقم چمران در محدوده شهرستان اهواز صورت گرفت. برای این منظور مدل AOGCM دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2 و B1) انتخاب شد و داده‌های روزانه دما و بارش برای منطقه تحقیق در پنج سطح احتمالاتی ۰/۱۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰، برای دو دوره آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ محاسبه شد. با ترکیب سناریوهای دما و بارش، در نهایت ۵۰ سناریوی تغییر اقلیم تحت هر کدام از سناریوهای انتشار A2 و B1 تولید شد. رشد گندم در دوره مبنا (۱۹۸۰-۲۰۱۰) و دوره‌های آبی (۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰) توسط مدل گیاهی واسنجی و ارزیابی شده CERES-Wheat شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد در اثر تغییر اقلیم، به‌ویژه در دوره آبی ۲۰۷۰-۲۱۰۰، دوره رشد کوتاه‌تر می‌شود. مقایسه عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم با دوره مبنا نیز نشان داد که با قبول ریسک ۰/۱۰، عملکرد در دوره‌های آبی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ نسبت به دوره مبنا به ترتیب ۴ و ۱۵ درصد کاهش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: دی‌اکسید کربن، سناریوهای انتشار، عملکرد گندم، مدل CERES-Wheat.

## ۱. مقدمه

همکاران، کو و همکاران، مینگوئز و همکاران، روییز-راموس و مینگوئز، مریو، مو و همکاران اشاره کرد (۱، ۵، ۱۴، ۱۶-۱۹). در مطالعات صورت گرفته علاوه بر در نظر نگرفتن منابع عدم قطعیت، گاهی بر بخش تغییر اقلیم و گاهی نیز بر جنبه فیزیولوژی گیاه تأکید شده است و مطالعه‌ای جامع که هر دو بخش تغییر اقلیم و فیزیولوژی گیاهی را به صورت مناسبی بررسی کند، صورت نگرفته است. وایت و همکاران با بررسی ۶۲۸ مقاله در زمینه اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان بیان کردند که از این تعداد تنها ۱۱۹ مقاله به بررسی ریسک یا تغییرپذیری پرداخته‌اند که در همه آنها، حداکثر به مقایسه ضریب تغییرات بسنده شده است. آنان اظهار داشتند توابع توزیع احتمالاتی برای بررسی منابع عدم قطعیت تغییر اقلیم مناسب‌تر است و اطلاعات جامع‌تری را در اختیار می‌گذارد (۲۷). بنابراین در این تحقیق سعی شده است با در نظر گرفتن منابع مهم عدم قطعیت مطالعات تغییر اقلیم و همچنین استفاده از تابع توزیع احتمالاتی، مطالعه جامعی که هر دو جنبه تغییر اقلیم و فیزیولوژی گیاهی را در برگیرد، انجام پذیرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

شهرستان اهواز در استان خوزستان به‌عنوان منطقه تحقیق انتخاب شد. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک با تابستان‌های بسیار گرم است.

### ۲.۱. تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه

#### منطقه برای دوره‌های آتی

برای تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه منطقه برای دوره‌های آتی از خروجی ۱۳ مدل AOGCM (HadCm3, ECHAM5/MPI-OM, CSIRO-MK3.5, GISS-CGCM3 (T63), CNRM-CM3, GFDL-CM2.0, ECHO-CCSM3, IPSL-CM4, MRI-CGM2.3.2a, ER

براساس گزارش چهارم هیأت بین دول تغییر اقلیم<sup>۱</sup>، در اثر تغییر اقلیم، متوسط دمای اتمسفر تا پایان قرن جاری بسته به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بین ۱/۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (۱۳) که این افزایش دما و دی اکسید کربن می‌تواند سبب ایجاد تغییرات اساسی در سیستم کشاورزی شود (۱۱، ۱۲، ۲۰). تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان با ارزیابی خروجی‌های مدل‌های گیاهی برای دو دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم قابل بررسی است (۹). مدل‌های گیاهی اثر متقابل آب‌وهوا، خاک و عوامل مدیریتی را به صورت روزانه شبیه‌سازی کرده و رشد، نمو و عملکرد را تعیین می‌کنند (۲۶).

در حال حاضر بهترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های جفت‌شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو<sup>۲</sup> است. هنگامی که در مطالعات تغییر اقلیم از چندین مدل اقلیم (مانند مدل‌های AOGCM) یا مدل اثر (مانند مدل‌های گیاهی) استفاده شود یا در استفاده از این مدل‌ها، فرضیه‌ها و روش‌های مختلفی به کار گرفته شود، مبحث عدم قطعیت نیز مطرح می‌شود (۲۲). بنابراین در بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر سیستم کشاورزی، باید عدم قطعیت‌های موجود نیز در نظر گرفته شود.

در این تحقیق با توجه به اهمیت گندم در ایران به‌عنوان مهم‌ترین منبع غذایی مردم ایران، تأثیرات تغییر اقلیم بر رشد و نمو گندم بررسی شد. بدین منظور از ۱۳ مدل AOGCM و مدل گیاهی CERES-Wheat استفاده شد. تحقیقاتی در سراسر دنیا در زمینه تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات آبابایی و همکاران، کوچکی و نصیری، لو و

1. IPCC: Intergovernmental Panel of Climate Change

2. AOGCM: Atmosphere- Ocean General Circulation Model

میانگین‌های ماهانه‌اند، در صورتی که مدل CERES-Wheat به سری‌های زمانی روزانه آب‌وهوا نیازمند است. ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی یکی از منابع عدم قطعیت به‌شمار می‌آید. در نظر گرفتن همه منابع عدم قطعیت به‌سادگی امکان‌پذیر نیست (۲۲). از طرفی مطالعات صورت گرفته در زمینه تأثیرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، نشان‌دهنده اهمیت بیشتر منابع عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به بقیه منابع عدم قطعیت است (۱۵). در این تحقیق نظر به اهمیت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، عدم قطعیت این دو منبع بررسی شد.

برای تولید سناریوهای اقلیمی روزانه به این صورت عمل شد که مقادیر  $\Delta T$  و  $\Delta P$  (معادلات ۱ و ۲) برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از سناریوهای انتشار A2 و B1 و برای هر ماه و هر دو دوره آتی، جداگانه محاسبه شد. به عبارت دیگر برای تولید سناریوی اقلیمی در هر دوره آتی، تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه  $\Delta T$  و  $\Delta P$  محاسبه شد. با توجه به تعداد محدود  $\Delta T$  و  $\Delta P$  (۱۳ تا برای هر ماه)، برای هر ماه یک تابع توزیع بتا برای  $\Delta T$  های همان ماه و یک تابع توزیع بتا برای  $\Delta P$  های همان ماه حاصل شد. تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF)  $\Delta T$  و  $\Delta P$  برای هر ماه، از تابع توزیع بتای مربوط تعیین و سپس مقادیر  $\Delta T$  و  $\Delta P$  در سطوح احتمالاتی ۰/۱۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰ از CDF مربوط استخراج شد. این عمل برای هر دوازده ماه تکرار شد.

در ادامه برای تولید داده‌های روزانه و ریزمقیاس‌شده اقلیمی، از مولد آب‌وهوای تصادفی LARS-WG استفاده شد. توانایی و کارایی این مدل در تحقیقات صورت گرفته به اثبات رسیده است (۲۴). این مدل می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش

G, BCCR-BCM2.0 و MIROC3.2 medres) تحت دو سناریوی انتشار A2 و B1 مربوط به چهارمین گزارش ارزیابی IPCC، AR4) استفاده شد. اهمیت این دو سناریو از این نظر است که سناریوی A2 در برگیرنده بحرانی‌ترین و سناریوی B1 در برگیرنده کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است (۱۳). دوره ۱۹۷۰-۲۰۰۰ به‌عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ به‌عنوان دوره‌های آتی انتخاب شدند. برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM، مقادیر «اختلاف» برای دما (رابطه ۱) و «نسبت» برای بارندگی (رابطه ۲) بین میانگین ۳۱ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۱۵-۲۰۴۵ یا ۲۰۷۰-۲۱۰۰) و دوره شبیه‌سازی‌شده پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) توسط همان مدل، محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر مقدار میانگین ۳۱ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه است.

$$\Delta T_i = T_{futi} - T_{basei} \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \frac{P_{futi}}{P_{basei}} \quad (2)$$

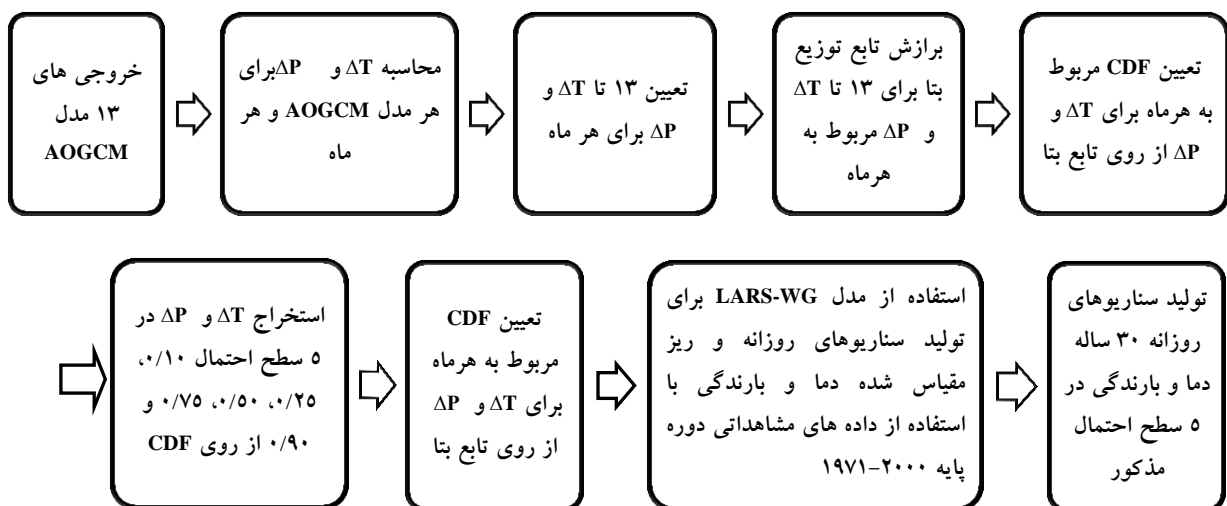
که  $\Delta T_i$  و  $\Delta P_i$  به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلندمدت ۳۱ ساله برای هر ماه ( $1 \leq i \leq 12$ )؛  $T_{futi}$  میانگین ۳۱ ساله دمای شبیه‌سازی‌شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه؛ و  $T_{basei}$  میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی‌شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار است.

## ۲.۲. ریزمقیاس کردن و تولید سناریوهای روزانه اقلیمی

استفاده مستقیم از پیش‌بینی‌های اقلیمی مدل‌های AOGCM در اتصال به برخی از مدل‌های شبیه‌سازی مانند مدل CERES-Wheat امکان‌پذیر نیست، زیرا این پیش‌بینی‌ها علاوه بر قدرت تفکیک مکانی کم، به‌صورت

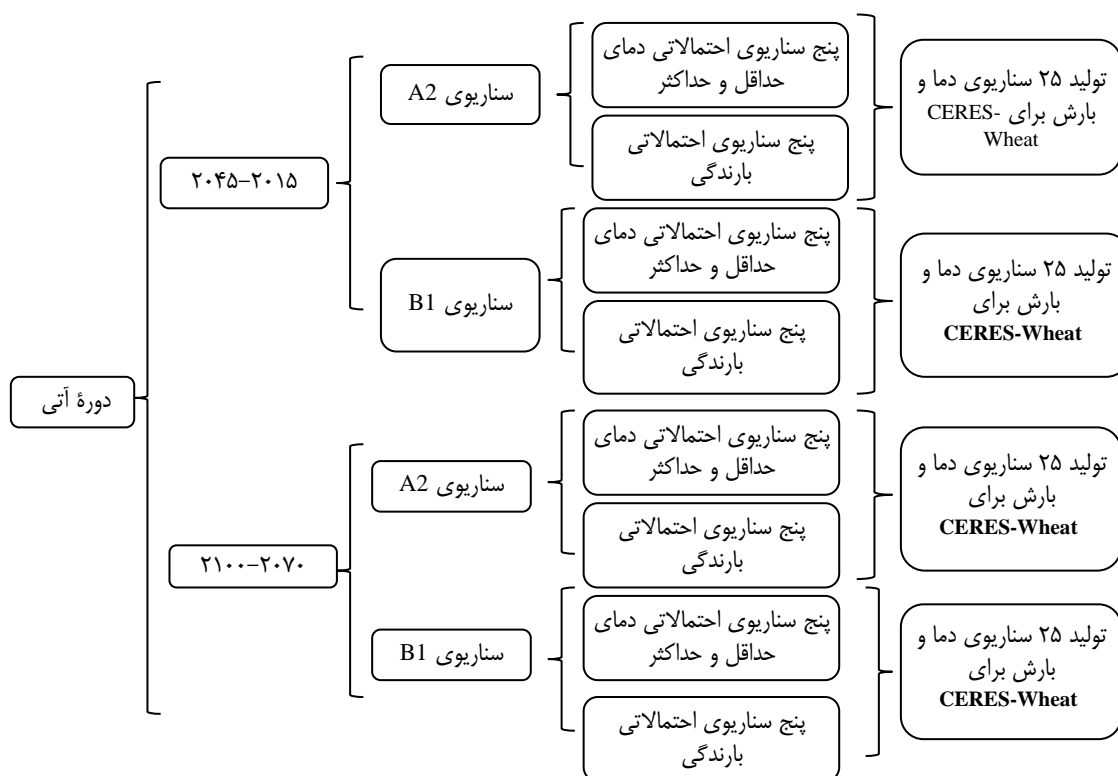
مقادیر دمای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای همه ماه‌ها، دارای اختلاف معناداری (در سطح ادرصد) نیستند. این مطلب در مورد داده‌های بارش نیز صادق بود. مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی، حداقل به داده‌های بارش، دمای حداکثر و حداقل و تابش خورشیدی نیاز دارد. کوچکی و همکاران عنوان کردند که تأثیر تغییر اقلیم بر تشعشع ورودی برای ایستگاه‌های مختلف ناچیز است (۴). علاوه بر آن در منطقه خوزستان با توجه به زیاد بودن ساعات آفتابی و تشعشع، این پارامتر (تشعشع) هیچ محدودیتی برای رشد گیاه ایجاد نمی‌کند. بنابراین میزان تشعشع در دوره‌های آبی با دوره پایه یکسان در نظر گرفته شد. با این فرض، برای ساخت سناریوهای تغییر اقلیم مورد نیاز مدل CERES-Wheat لازم است سناریوهای بارش و دما در سطوح مختلف احتمالاتی با هم ترکیب شوند. با توجه به وجود پنج سناریو (در سطوح مختلف احتمالاتی) برای هر کدام از آنها (بارش و دما)، ترکیب آنها ۲۵ سناریوی تغییر اقلیم را برای هر دوره و هر سناریوی انتشار رقم می‌زند. با توجه به وجود دو سناریوی انتشار، برای هر دوره آبی ۵۰ سناریوی تغییر اقلیم حاصل می‌شود.

خورشید را تولید کند. برای این منظور با استفاده از داده‌های مشاهداتی دوره پایه ۱۹۷۰-۲۰۰۰ (مربوط به ایستگاه سینوپتیک اهواز) و سطوح مختلف احتمالاتی  $\Delta T$  و  $\Delta P$  (سطوح احتمالاتی ۰/۱۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۰/۹۰) سناریوهای اقلیمی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای دو دوره ۳۱ ساله آبی (دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰) تولید شد. مدل LARS-WG قبل از استفاده باید صحت‌سنجی شود. به این منظور برای ایستگاه منتخب، با فرض اینکه هیچ تغییر اقلیمی وجود ندارد، برای هر تعداد سال (برای مثال ۳۰ سال)، داده‌های اقلیمی تولید شده و سپس مشخصه‌های آماری داده‌های هواشناسی مشاهده شده و ساختگی برای تعیین اینکه آیا اختلاف معنا-داری بین این دو سری داده وجود دارد یا نه تحلیل می‌شود. در این مدل برای مقایسه توزیع‌های احتمالاتی، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای مقایسه میانگین‌ها از t-test و برای مقایسه انحراف معیار از F-test استفاده می‌شود (۲۵). معیار تصمیم‌گیری در مورد آزمون‌های آماری مذکور مقادیر p-value است. مقادیر p-value آزمون‌های آماری استفاده شده در این تحقیق نشان داد

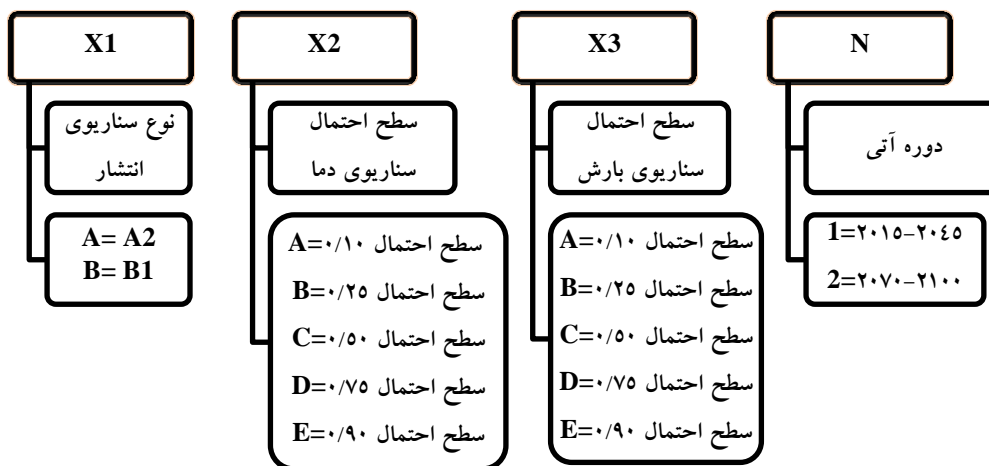


شکل ۱. فلوچارت تولید سناریوهای روزانه دما و بارش ۳۰ ساله برای یک دوره آبی، تحت یک سناریوی انتشار

ارزیابی ریسک تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)



شکل ۲. فلوچارت تولید ۱۰۰ سناریوی تغییر اقلیم روزانه ۳۰ ساله مورد نیاز مدل CERES-Wheat



شکل ۳. نحوه کدگذاری سناریوهای تغییر اقلیم

$X_3$  به ترتیب نشان‌دهنده سطح احتمال سناریوی دما و بارش، و در نهایت N نشان‌دهنده دوره آبی است. نحوه کدگذاری در شکل ۳ مشخص شده است. برای مثال سناریوی ABC1 نشان‌دهنده سناریوی تغییر اقلیمی است

مرحل مذکور به‌طور خلاصه در فلوچارت شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است. نامگذاری این ۱۰۰ سناریوی تغییر اقلیم با سه حرف و یک عدد به‌صورت  $X_1X_2X_3N$  انجام گرفت که  $X_1$  نشان‌دهنده نوع سناریوی انتشار،  $X_2$  و

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

G3: مشخص‌کننده وزن سنبله و ساقه، در زمان کاهش طولیل شدن ساقه است؛  
PHINT: فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی بر مبنای واحد درجه-روز توسط این ضریب بیان می‌شود.  
دلقندی و همکاران با آزمایش‌های مزرعه‌ای، مدل مذکور را برای این رقم در منطقه تحقیق واسنجی و ارزیابی کردند (۲).

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. نتایج تولید سناریوهای تغییر اقلیم

نتایج مربوط به واسنجی مدل LARS-WG نشان از عملکرد قابل قبول این مدل در ریزمقیاس نمایی داده‌های منطقه دارد در ادامه نتایج مربوط به تغییرات دما و بارش در دو دوره آتی نسبت به دوره مبنا تحت هر کدام از سناریوهای انتشار در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول اعداد کوچک‌تر مربوط به سناریوی با احتمال ۰/۱ و اعداد بزرگ‌تر مربوط به سناریوی با احتمال ۰/۹ هستند. اعداد مربوط به سناریوهای با احتمال ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ بین این دو عدد قرار می‌گیرند. با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که دما و بارش در هر دو دوره آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد، که این افزایش و کاهش در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر، میزان تغییرات دما و بارش در دوره آتی اول تحت هر دو سناریوی انتشار A2 و B1 تقریباً یکسان است. اما در دوره آتی دوم افزایش دما و کاهش بارندگی تحت سناریوی انتشار A2 نسبت به سناریوی B1 بیشتر است. با استفاده از داده‌های این جدول و به‌کارگیری مدل LARS-WG5 در مجموع ۱۰۰ سناریوی تغییر اقلیم تولید شد.

که مربوط به سناریوی انتشار A2 و دوره اول یعنی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ است و از ترکیب سناریوی سطح احتمال ۰/۲۵ دمای حداکثر و حداقل و سطح ۰/۵۰ بارش حاصل شده است.

#### ۳.۲. شبیه‌سازی رشد گندم برای دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم

برای شبیه‌سازی رشد گندم (رقم چمران) برای دوره پایه و سناریوهای تغییر اقلیم، از مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT 4.5<sup>۱</sup> استفاده شد. این مدل از گروه مدل‌های CERES است که برای غلات تهیه شده است. این مدل خود یکی از زیرمدل‌های DSSAT است. لازمه استفاده از مدل CERES-Wheat، واسنجی و ارزیابی این مدل است. به‌منظور واسنجی مدل، باید هفت ضریب ژنتیکی برای رقم مورد نظر (در این مطالعه رقم چمران) تنظیم و تعیین شود. این ضرایب ژنتیکی به شرح زیرند:

PIV: این ضریب برای تعیین میزان حساسیت ارقام گندم به بهاره‌سازی به‌کار می‌رود و نشان‌دهنده تعداد روزهایی است که باید دمای آنها برای بهاره‌سازی در حد مطلوب باشد. واریته‌های گندم بهاره مانند رقم چمران، حساسیت اندکی به بهاره‌سازی دارند و این ضریب کمتر از ۵ است.

PID (حساسیت به دوره نوری): این ضریب، میزان تأخیر در نمو گندم را به‌زای قرار گرفتن گیاه در دوره نوری با یک ساعت کوتاه‌تر از دوره نوری مطلوب نشان می‌دهد؛ P5: برای نشان دادن طول دوره پرشدن دانه براساس درجه-روز استفاده می‌شود؛

G1: این ضریب برای محاسبه تعداد دانه به‌کار می‌رود؛  
G2: از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پرشدن دانه استفاده می‌شود؛

جدول ۱. تغییرات دما و بارش در دو دوره آبی نسبت به دوره مینا تحت هر کدام از سناریوهای انتشار

B1		A2		دوره آبی
$\Delta P(\text{mm})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta P(\text{mm})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	
۱/۳۴-۰/۷۵	۱/۴۷/۰/۶۳	۱/۵۸-۰/۶۷	۱/۵۴-۰/۷۲	۲۰۴۵-۲۰۱۵
۱/۲۶-۰/۶۲	۲/۷۵-۱/۷۲	۱/۴۷-۰/۵۰	۴/۵۱-۲/۲۴	۲۱۰۰-۲۰۷۰

پس از وارد کردن داده‌های مورد نیاز، مدل CERES-Wheat ارزیابی شده توسط دلقندی و همکاران (۲) برای دوره ۳۰ ساله مینا اجرا شد. خصوصیات اصلی گیاه گندم شامل مراحل فنولوژی و عملکرد دانه شبیه‌سازی شد و میانه نتایج ۳۰ ساله، برای عملکرد دانه و مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب اعداد ۶۳۲۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۴۳ روز به دست آمد. این اعداد مبنای مقایسه با نتایج سناریوهای تغییر اقلیم در نظر گرفته شدند.

### ۳.۳. شبیه‌سازی عملکرد برای دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰

عملکرد و صفات گیاهی گندم تحت سناریوهای اقلیمی دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ (هر دوره، ۵۰ سناریوی اقلیمی) شبیه‌سازی شد. مقدار غلظت  $\text{CO}_2$  برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و در هر دو سناریوی انتشار A2 و B1، برابر با ۴۳۰ ppm، برای دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰، برای دو سناریوی انتشار A2 و B1 به ترتیب ۷۳۰ و ۵۴۰ ppm در نظر گرفته شد (۱۱). میانه مربوط به نتایج ۳۰ ساله هر صفت گیاهی، تعیین و با میانه نتایج دوره مینا مقایسه شد (جدول ۲). از نتایج مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (M) و عملکرد (Y) سناریوهایی که دارای سطوح دمایی و بارش یکسان بودند میانگین‌گیری شد و نتایج در جدول ۳ ارائه شد.

### ۲.۳. شبیه‌سازی عملکرد و طول دوره رشد برای دوره مینا (۱۹۸۰-۲۰۱۰)

به منظور تعیین تأثیرات سناریوهای تغییر اقلیم بر عملکرد و طول دوره رشد گندم، باید مقدار عملکرد، تحت سناریوهای اقلیمی دوره‌های آبی و دوره مینا تعیین و مقایسه شوند. بنابراین در گام نخست باید مقدار عملکرد گیاه در دوره مینا محاسبه شود. بنا به توصیه وایت و همکاران به این منظور، باید دوره ۳۰ ساله زراعی اخیر (۱۹۸۰-۲۰۱۰) در شبیه‌سازی به کار گرفته شود (۲۷). غلظت  $\text{CO}_2$  برابر با میانگین این دوره یعنی ۳۶۰ ppm در نظر گرفته شد (۱۲). برای شبیه‌سازی عملکرد در این دوره از تیمارهای نرمال استفاده شد. بدین منظور تاریخ کشت نرمال یعنی ۳۰ آبان، کوددهی براساس مقدار توصیه شده ۱۶۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و در دو مرحله رشد به مدل اعمال شد. برای تعیین برنامه آبیاری از روش هارمسن و همکاران (۱۰) استفاده شد. بدین منظور مقدار تبخیر و تعرق واقعی (ETA) گندم به صورت روزانه برای دوره ۳۰ ساله اخیر و با استفاده از روش فائو ۵۶ محاسبه شد. مقدار ETA روزانه در طول فصل زراعی با احتمال وقوع ۸۰ درصد (ریسک ۲۰ درصد) محاسبه شد. مقدار بارندگی مؤثر نیز در این دوره با ریسک ۲۰ درصد محاسبه و از تفاضل مقدار ETA و بارندگی مؤثر، مقدار نیاز خالص گندم تعیین شد. برنامه‌ریزی آبیاری براساس نیاز خالص گیاه تنظیم و به مدل CERES-Wheat اعمال شد.

## مدیریت آب و آبیاری

جدول ۲. تغییرات مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ( $\Delta M$ ) و عملکرد ( $\Delta Y$ ) در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

$\Delta Y$	$\Delta M$	سناریو	$\Delta Y$	$\Delta M$	سناریو	$\Delta Y$	$\Delta M$	سناریو	$\Delta Y$	$\Delta M$	سناریو
%	(day)		%	(day)		%	(day)		%	(day)	
۵/۸	-۷	BAA2	۱۰/۱	-۱۰	AAA2	۴/۴	-۱	BAA1	۱/۳	-۱	AAA1
۶/۱	-۷	BAB2	۱۰/۷	-۱۰	AAB2	۵/۰	-۱	BAB1	۳/۳	-۱	AAB1
۶/۴	-۷	BAC2	۱۰/۵	-۱۰	AAC2	۵/۰	-۱	BAC1	۶/۹	-۱	AAC1
۶/۵	-۷	BAD2	۱۱/۱	-۱۰	AAD2	۵/۰	-۱	BAD1	۷/۲	-۱	AAD1
۶/۶	-۷	BAE2	۱۱/۰	-۱۰	AAE2	۵/۱	-۱	BAE1	۷/۴	-۱	AAE1
۳/۸	-۸	BBA2	۴/۰	-۱۳	ABA2	۲/۴	-۲	BBA1	۱/۰	-۲	ABA1
۴/۲	-۸	BBB2	۴/۷	-۱۳	ABB2	۳/۵	-۲	BBB1	۲/۹	-۲	ABB1
۴/۳	-۸	BBC2	۵/۳	-۱۳	ABC2	۳/۶	-۲	BBC1	۵/۰	-۲	ABC1
۴/۷	-۸	BBD2	۵/۲	-۱۳	ABD2	۴/۱	-۲	BBD1	۵/۲	-۲	ABD1
۴/۸	-۸	BBE2	۵/۲	-۱۳	ABE2	۴/۳	-۲	BBE1	۵/۳	-۲	ABE1
۰/۷	-۱۰	BCA2	-۱/۷	-۱۷	ACA2	۰/۶	-۳	BCA1	۰/۲	-۳	ACA1
۱/۱	-۱۰	BCB2	-۱/۲	-۱۷	ACB2	۰/۹	-۳	BCB1	۲/۶	-۳	ACB1
۱/۲	-۱۰	BCC2	-۰/۷	-۱۷	ACC2	۱/۸	-۳	BCC1	۴/۳	-۳	ACC1
۱/۳	-۱۰	BCD2	-۰/۶	-۱۷	ACD2	۲/۶	-۳	BCD1	۴/۳	-۳	ACD1
۱/۶	-۱۰	BCE2	-۱/۸	-۱۷	ACE2	۲/۶	-۳	BCE1	۴/۴	-۳	ACE1
-۱/۲	-۱۱	BDA2	-۱۱/۴	-۲۱	ADA2	-۰/۸	-۴	BDA1	-۳/۹	-۵	ADA1
-۱/۹	-۱۱	BDB2	-۹/۱	-۲۱	ADB2	-۰/۵	-۴	BDB1	-۲/۲	-۵	ADB1
-۱/۲	-۱۱	BDC2	-۸/۶	-۲۱	ADC2	۰/۶	-۴	BDC1	۰/۸	-۵	ADC1
-۱/۸	-۱۱	BDD2	-۸/۹	-۲۱	ADD2	۰/۴	-۴	BDD1	۱/۴	-۵	ADD1
-۲/۱	-۱۱	BDE2	-۹/۴	-۲۱	ADE2	۰/۹	-۴	BDE1	۲/۸	-۵	ADE1
-۵/۰	-۱۳	BEA2	-۱۵/۰	-۲۳	AEA2	-۳/۶	-۵	BEA1	-۴/۲	-۵	AEA1
-۴/۷	-۱۳	BEB2	-۱۳/۸	-۲۳	AEB2	-۳/۰	-۵	BEB1	-۲/۵	-۵	AEB1
-۴/۴	-۱۳	BEC2	-۱۳/۱	-۲۳	AEC2	-۲/۹	-۵	BEC1	-۰/۱	-۵	AEC1
-۴/۳	-۱۳	BED2	-۱۳/۸	-۲۳	AED2	-۲/۳	-۵	BED1	۰/۵	-۵	AED1
-۴/۳	-۱۳	BEE2	-۱۳/۱	-۲۳	AEE2	-۲/۲	-۵	BEE1	۲/۶	-۵	AEE1

$\Delta M$ : تفاوت زمان رسیدگی فیزیولوژیک در سناریوی مورد نظر نسبت به دوره مبنا (۱۹۸۰-۲۰۱۰) است اعداد منفی نشان‌دهنده کوتاه شدن زمان

رسیدگی فیزیولوژیک در سناریوهای تغییر اقلیم است.

$\Delta Y$ : درصد تغییرات عملکرد در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به عملکرد دوره مبنا (۱۹۸۰-۲۰۱۰) است. اعداد مثبت نشان‌دهنده افزایش و اعداد منفی

نشان‌دهنده کاهش عملکرد در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره مبنا است.



جدول ۳. میانگین نتایج مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (M) و عملکرد گندم (Y) در سناریوهای متشکل از سطح احتمالاتی یکسان بارش و دما\*

دوره دوم و سناریوی B1		دوره اول و سناریوی B1		دوره دوم و سناریوی A2		دوره اول و سناریوی A2		سطوح احتمالاتی دما و بارش
Y (Kg/ha)	M (day)	Y (Kg/ha)	M (day)	Y (Kg/ha)	M (day)	Y (Kg/ha)	M (day)	
۶۷۴۲	۱۳۶	۶۶۴۶	۱۴۲	۷۰۷۷	۱۳۳	۶۶۷۴	۱۴۲	T (0.10)
۶۶۰۹	۱۳۵	۶۵۵۴	۱۴۱	۶۶۴۴	۱۳۰	۶۵۷۸	۱۴۱	T (0.25)
۶۳۹۴	۱۳۳	۶۴۲۹	۱۴۰	۶۲۴۵	۱۲۶	۶۵۳۰	۱۴۰	T (0.50)
۶۲۱۹	۱۳۲	۶۳۲۸	۱۳۹	۵۷۷۳	۱۲۲	۶۳۱۰	۱۳۸	T (0.75)
۶۰۴۵	۱۳۰	۶۱۴۷	۱۳۸	۵۵۵۷	۱۲۰	۶۲۷۷	۱۳۸	T (0.90)
۶۳۸۱	۱۳۳	۶۳۶۲	۱۴۰	۶۲۰۰	۱۲۶	۶۲۵۵	۱۴۰	P (0.10)
۶۳۹۱	۱۳۳	۶۴۰۱	۱۴۰	۶۲۶۱	۱۲۶	۶۳۷۶	۱۴۰	P (0.25)
۶۴۱۰	۱۳۳	۶۴۳۰	۱۴۰	۶۲۸۳	۱۲۶	۶۵۴۷	۱۴۰	P (0.50)
۶۴۱۲	۱۳۳	۶۴۵۰	۱۴۰	۶۲۸۴	۱۲۶	۶۵۷۰	۱۴۰	P (0.75)
۶۴۱۶	۱۳۳	۶۴۶۲	۱۴۰	۶۲۶۸	۱۲۶	۶۶۲۲	۱۴۰	P (0.90)

\* T(0.10) تا T(0.90) میانگین سناریوهایی هستند که در آنها به ترتیب از دماهای با سطح احتمال ۰/۱۰ تا ۰/۹۰ تشکیل شدند. همین مطلب برای سناریوهای بارش نیز تکرار و با P(0.10) تا P(0.90) نشان داده شد. برای مثال نتایج T(0.10) میانگین نتایج سناریوهایی هستند که از سطوح مختلف احتمالاتی بارش با سناریوی دما با سطح احتمال ۰/۱۰ تشکیل شده‌اند. به عبارت دیگر نتایج مربوط به سناریوی T(0.10) در دوره اول، تحت سناریوی A2، میانگین نتایج پنج سناریوی AAA1، AAB1، AAC1، AAD1 و AAE1 است.

### ۴.۳. تأثیر تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی گیاه گندم

۲۰۱۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره مبنا بین یک تا پنج روز در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم کاهش یافته است. در سناریوهایی که از سطوح بالاتر دما تشکیل شده‌اند (مانند سناریوی AEA1)، کاهش طول دوره مراحل فنولوژی نیز نسبت به دوره مبنا بیشتر است. همچنین تغییرات بارندگی تأثیری بر طول مراحل فنولوژی نداشته است. با توجه به اینکه طول دوره‌های فنولوژی تنها تابع مقدار دما هستند این نتیجه طبیعی است. همین نتایج برای سناریوی B1 نیز صادق است.

هر یک از مراحل نمو پس از دریافت مقدار معینی دما تغییر می‌کند و به مرحله بعدی وارد می‌شود. مقدار نیاز حرارتی هر مرحله از نمو با درجه-روز رشد<sup>۱</sup> (GDD) بیان می‌شود که معادل میانگین دمای روزانه منهای دمای پایه (صفر فیزیولوژیکی) است. با توجه به جدول ۲، مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تحت سناریوی A2 در دوره آتی

در دوره دوم آتی، تحت سناریوی A2، مرحله رسیدگی

1. Growth Degree-Day

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

(نسبت به دوره مینا) در دوره اول، افزایش یافته است. در این دوره، مقایسه عملکرد در سناریوهای تغییر اقلیم B1 نسبت به A2 نشان می‌دهد که دامنه تغییرات عملکرد در سناریوی B1 کوچک‌تر است.

به‌طور کلی، دلیل تغییرات عملکرد دانه در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، نسبت به دوره مینا و همچنین، تغییرات عملکرد دانه در بین خود سناریوهای تغییر اقلیم را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد.

افزایش عملکرد گندم (در صورت ثابت بودن غلظت CO<sub>2</sub>) در وهله اول، به افزایش دانه در واحد سطح بستگی دارد (۶). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش دما، تعداد دانه در متر مربع، کاهش می‌یابد که دلیل آن را باید افزایش دما در مراحل دانست که بر تعداد دانه در واحد سطح مؤثرند. مرحله رشد زایشی که تعیین‌کننده پتانسیل تعداد دانه در متر مربع است، از حساس‌ترین مراحل رشد گندم به تنش گرما است. با افزایش دما سرعت رشد و نمو گندم افزایش می‌یابد و طول مرحله زایشی کوتاه‌تر می‌شود و تشکیل تعداد دانه در واحد سطح به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه عملکرد دانه (به‌ویژه در مناطق گرم مانند خوزستان)، کاهش می‌یابد (۸).

حساسیت فتوسنتز و تنفس به افزایش دما نیز از دیگر عوامل کاهش عملکرد در سناریوهایی است که از دماهای با سطح احتمال بالا تشکیل شده‌اند. افزایش دماهای حداقل، سبب می‌شود در شب که به دلیل نبود نور، فتوسنتز صورت نمی‌گیرد، تنفس به‌صورت فوق‌العاده‌ای افزایش یابد. از آنجا که درجه حرارت مطلوب فتوسنتز، کمتر از درجه حرارت مطلوب تنفس است، با تجاوز دما از حد مطلوب فتوسنتز، درجه حرارت به دمای مطلوب تنفس نزدیک می‌شود و به تبع آن، تنفس به‌شدت افزایش می‌یابد و از میزان فتوسنتز کاسته می‌شود. عملکرد بیولوژیک نیز که به میزان فتوسنتز منهای تنفس بستگی دارد، کاهش

بین ۱۰ تا ۲۳ روز کاهش می‌یابد (جدول ۲). این روند در سناریوی B1، نیز رخ می‌دهد، با این تفاوت که در این سناریو، طول دوره مراحل فنولوژی کاهش کمتری نسبت به سناریوی A2 دارد. با افزایش دما، نیاز حرارتی مراحل رشد و نمو گندم (برحسب GDD) زودتر تأمین می‌شود و طول دوره رشد کاهش می‌یابد.

### ۵.۳. تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد دانه گندم

در دوره آتی اول، عملکرد دانه در اکثر سناریوهای تغییر اقلیم حاصل از A2 افزایش یافته است. در سناریوهای تغییر اقلیمی که از سناریوهای دما با سطح احتمال پایین استفاده شده است، عملکرد دانه افزایش بیشتری داشته است (جدول ۳). همچنین عملکرد در سناریوهایی متشکل از بارندگی با سطح احتمال بالا نسبت به سناریوهای متشکل از بارندگی با سطح احتمال پایین، بیشتر افزایش یافته است (هر چند این افزایش عملکرد ناچیز است). با توجه به مقدار عملکرد سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، سناریوی AAE1 با افزایش ۷/۴ درصدی عملکرد دانه و سناریوی AEA1 با کاهش ۴/۲ درصدی عملکرد دانه به‌ترتیب خوش‌بینانه‌ترین و وخیم‌ترین سناریو از نظر مقدار عملکرد دانه‌اند.

برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ در سناریوی B1 نیز روندی مشابه سناریوهای A2 مشاهده می‌شود. دلیل این امر نزدیک بودن سناریوهای تغییر اقلیم ناشی از این دو سناریوی انتشار (چه از نظر تغییرات بارندگی و دما و چه از نظر تغییرات CO<sub>2</sub>) است.

در دوره دوم آتی، تحت سناریوی A2 تغییرات عملکرد در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شدیدتر است. عملکرد دانه در سناریوی AAD2، ۱۱/۱ درصد افزایش و در سناریوی AEA2، ۱۵ درصد نسبت به دوره مینا کاهش یافته است. در این دوره افزایش و کاهش عملکرد (نسبت به دوره مینا) در مقایسه با افزایش و کاهش عملکرد

تحریک فتوستنز و کاهش تنفس و بهبود کارایی مصرف آب اثر مثبتی بر عملکرد دارد (۲۱). با توضیحات کلی که در مورد اثر دما، بارندگی و غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم بیان شد می‌توان نتایج سناریوهای مختلف را بررسی کرد.

دلیل افزایش عملکرد در سناریوی AAEI نسبت به دوره مبنای باید در تغییرات دما، بارش و غلظت CO<sub>2</sub> این سناریو نسبت به دوره مبنای جست‌وجو کرد. در این سناریو، افزایش دما نسبت به دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۰ بسیار اندک است، اما غلظت CO<sub>2</sub> حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است. مریو و لو و همکاران نیز افزایش غلظت CO<sub>2</sub> را عامل افزایش عملکرد در دوره‌های آتی دانستند (۱۶، ۱۷).

در سناریوی AEA1 افزایش دما سبب کاهش پنج‌روزه دوره رشد شده است که خود بر عملکرد دانه تأثیر منفی دارد. از طرفی در این سناریو بارندگی نسبت به دوره مبنای کاهش یافته است. در نهایت، عملکرد دانه که بیشتر برآیند تأثیر منفی افزایش دما و تأثیر مثبت افزایش CO<sub>2</sub> بر عملکرد دانه است، کاهش یافته است. لو و همکاران برای جنوب استرالیا نیز نتایج مشابه یافته‌های این تحقیق، در مورد اثر متقابل دما و غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم به‌دست آوردند (۱۶).

افزایش بیشتر عملکرد در سناریوهای متشکل از دماهای با سطح احتمال ۰/۱، در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ نسبت به دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ (مانند سناریو AAA2 در مقایسه با سناریوی AAA1) از آنجا ناشی می‌شود که میانگین دما در طول فصل زراعی در دوره آتی دوم، در سطح احتمال ۰/۱ حدود ۱/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره آتی اول افزایش یافته است. اما افزایش غلظت CO<sub>2</sub> در این دوره نسبت به دوره قبل بسیار بیشتر (حدود ۱/۷ برابر) شده است. یعنی از مقدار ۴۳۰ ppm به ۷۳۰ ppm رسیده و موجب شده است که در سناریوهای مورد بحث، عملکرد

می‌یابد (۳). با توجه به همبستگی قوی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک، با کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه نیز کم می‌شود (۲۳). بنابراین در وضعیت اقلیمی خوزستان (که نور عامل محدودکننده فتوستنز نیست) که گندم در بیشتر مراحل خود، تنش حرارتی را حس می‌کند یا نزدیک آستانه تنش حرارتی قرار دارد، با افزایش بیشتر دما، فتوستنز کاهش و تنفس افزایش می‌یابد که در نهایت به کاهش عملکرد منجر می‌شود. افزایش سه یا چهاردرجه‌ای دما که در برخی از سناریوهای تغییر اقلیم رخ می‌دهد سبب می‌شود در برخی از روزها، دما از درجه حرارت جبرانی (درجه حرارتی که در آن تنفس و فتوستنز با هم برابرند) نیز فراتر رود و گیاه دچار گرسنگی و در نتیجه کاهش عملکرد شود (۸).

با دقت در جدول‌های ۲ و ۳ در می‌یابیم که هرچند با افزایش بارندگی عملکرد نیز افزایش یافته است، این افزایش ناچیز است، زیرا به‌ازای افزایش حدود ۱۰۰ درصدی بارش، مقدار محصول در حدود ۱ تا ۲ درصد افزایش یافته است. به‌عبارتی عملکرد دانه کمتر تحت تأثیر تغییرات بارندگی قرار گرفته است، که دلیل آن آبی بودن کشت گندم و اعمال آبیاری است. کو و همکاران نیز در تحقیق خود برای منطقه آریزونا<sup>۱</sup> ایالات متحده آمریکا که گندم به‌صورت آبی کشت می‌شود به نتیجه مشابهی رسیدند (۱۴).

برخلاف افزایش دما که اثری منفی بر عملکرد دارد، افزایش غلظت CO<sub>2</sub> سبب افزایش عملکرد می‌شود. پاسخ‌های فیزیولوژیکی افزایش غلظت CO<sub>2</sub>، اثر کودی CO<sub>2</sub> شناخته می‌شود که موجب افزایش ماده خشک کل، عملکرد دانه و تنومندتر شدن گیاهان می‌شود (۷). افزایش CO<sub>2</sub> به‌ویژه در مورد گیاهان C<sub>3</sub> مانند گندم از طریق

1. Arizona

### ۶.۳. شبیه‌سازی عملکرد در سناریوهای تغییر اقلیم بدون احتساب افزایش CO<sub>2</sub>

برای بررسی اثر جداگانه دو پارامتر غلظت CO<sub>2</sub> و دما (که بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه دارند)، بر عملکرد گندم، سناریوهای که بیشترین عملکرد و کمترین عملکرد را در هر دوره (تحت هر سناریوی انتشار) داشتند، انتخاب و خصوصیات گیاهی گندم و عملکرد برای آنها بدون در نظر گرفتن افزایش CO<sub>2</sub> شبیه‌سازی شد (جدول ۴). نتایج جدول نشان می‌دهد که افزایش غلظت CO<sub>2</sub> در هر سناریوی تغییر اقلیم برای منطقه تحقیق، تا چه حد تأثیرات منفی افزایش دما را تعدیل کرده است. برای نمونه در سناریوی AEA2 تأثیرات منفی افزایش دما موجب می‌شود عملکرد نسبت به دوره مبنا (۶۳۲۰ کیلوگرم در هکتار) در حدود ۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (حدود ۳۳ درصد) کاهش یابد که ۱۲۴۸ کیلوگرم (حدود ۲۰ درصد) آن توسط افزایش غلظت CO<sub>2</sub> جبران شده است. کوچکی و نصیری در منطقه مشهد نیز به نتایج مشابه دست یافته‌اند (۵).

دانه در دوره آتی دوم نسبت به دوره آتی اول، بیشتر افزایش یابد. اما در سناریوهای که از دماهای با سطح احتمال ۰/۹ تشکیل شده‌اند، افزایش سه‌درجه‌ای دمای میانگین دوره رشد در دوره دوم، نسبت به دوره اول (جدول ۳) موجب کاهش شدید عملکرد دانه (به دلیل کاهش فتوسنتز و احتمالاً گرسنگی گیاه در برخی از روزهای رشد و همچنین کاهش طول دوره رشد) شده است که افزایش CO<sub>2</sub> نیز نتوانسته این کاهش عملکرد را جبران کند. علت کاهش عملکرد در سناریو AEA2 نیز همین است.

افزایش کمتر CO<sub>2</sub> در سناریوهای حاصل از B1 نسبت به سناریوهای حاصل از A2، حداکثر عملکردهای کمتری را نتیجه داده است. از طرفی نیز افزایش کمتر دما در سناریوهای حاصل از B1 نسبت به سناریوهای حاصل از A2، سبب شده است که عملکردهای حداقل نسبت به سناریوی A2 کمتر شود.

جدول ۴. عملکرد دانه با و بدون افزایش غلظت CO<sub>2</sub>

سناریو	Y (Kg/ha)	سناریو	Y (Kg/ha)	سناریو	Y (Kg/ha)	سناریو	Y (Kg/ha)
AAE1(430ppm)	۶۸۲۸	AEA1(430ppm)	۶۰۶۸	BAE1(430ppm)	۶۶۵۷	BEA1(430ppm)	۶۱۰۰
AAE1(360ppm)	۶۴۴۲	AEA1(360ppm)	۵۷۰۵	BAE1(360ppm)	۶۲۳۹	BEA1(360ppm)	۵۷۲۸
ΔY (%)	۵/۹	ΔY (%)	۶/۳	ΔY (%)	۶/۷	ΔY (%)	۶/۴
سناریو	Y (Kg/ha)	سناریو	Y (Kg/ha)	سناریو	Y (Kg/ha)	سناریو	Y (Kg/ha)
BAE2(540ppm)	۶۷۶۴	BEA2(540ppm)	۶۰۱۸	AAD2(730ppm)	۷۱۱۱	AEA2(730ppm)	۵۴۹۷
BAE2(360ppm)	۶۰۱۲	BEA2(360ppm)	۵۳۶۹	AAD2(360ppm)	۵۷۰۲	AEA2(360ppm)	۴۲۴۹
ΔY (%)	۱۲/۵	ΔY (%)	۱۲/۱	ΔY (%)	۲۴/۷	ΔY (%)	۲۹/۳

Y: عملکرد دانه، ΔY: درصد افزایش محصول در اثر افزایش غلظت CO<sub>2</sub>

#### ۴. نتیجه گیری کلی

در این تحقیق تأثیرات تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم (رقم چمران) برای وضعیت اقلیمی شهرستان اهواز بررسی و مشخص شد که به دلیل افزایش دما، طول دوره رشد در دوره های آتی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰، نسبت به دوره ۳۰ ساله اخیر به ترتیب یک تا پنج روز و هفت تا بیست و یک روز کاهش می یابد. در سناریوهای اقلیمی حاصل از سناریوی انتشار A2، کاهش طول دوره رشد نسبت به سناریوهای اقلیمی حاصل از سناریوی انتشار B1 بیشتر است. عملکرد گندم نیز در دوره های آتی، تحت تأثیر افزایش دما، کاهش بارندگی و افزایش CO<sub>2</sub> قرار می گیرد، که دو پارامتر اول موجب کاهش عملکرد، و افزایش CO<sub>2</sub> سبب افزایش عملکرد می شود. با توجه به عدم نبودن کشت گندم در منطقه، کاهش بارندگی اثر چندانی بر کاهش عملکرد ندارد. با در نظر گرفتن ریسک ۰/۱۰، عملکرد در دوره های آتی ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ نسبت به دوره مینا (۳۰ سال اخیر) به ترتیب ۴ و ۱۵ درصد کاهش می یابد، اما با قبول ریسک های بالاتر مقدار کاهش محصول کاهش می یابد، به طوری که با قبول ریسک ۹۰ درصد افزایش عملکرد ۱۱ درصدی نیز مشاهده می شود. در نهایت پیشنهاد می شود، با توجه به کاهش عملکرد در دوره های آتی، به ویژه دوره آتی دوم از هم اکنون به دنبال راهکارهای سازگاری با شرایط تغییر اقلیم (مانند تولید واریته های سازگار با شرایط تغییر اقلیم) بود.

#### منابع

۱. آبایی ب.، سهرابی ت.، میرزایی ف.، رضوردی نژاد و. و کریمی ب (۱۳۸۹). اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). دانش کشاورزی، ۲۰/۱ (۳): ۱۳۵-۱۴۸.

۲. دلقندی م.، اندرزیان ب.، برومند نسب س.، مساح بوانی ع. و جواهری ا (۱۳۹۳). ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه 4.5 DSSAT در شبیه سازی رشد، عملکرد و مراحل فنولوژی گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). مجله آب و خاک. ۲۸ (۱): ۸۲-۹۱.

۳. رادمهر م (۱۳۷۶). تأثیر تنش گرما بر فیزیولوژی رشد و نمو گندم. انتشارات دانشگاه فردوسی. مشهد. ۲۰۱ صفحه.

۴. کوچکی ع. و نصیری محلاتی م (۱۳۸۷). تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهش های زراعی ایران. ۶ (۱): ۱۳۹-۱۵۳.

۵. کوچکی ع.، نصیری محلاتی م.، بداع جمالی ج. و مرعشی ح (۱۳۸۵). مطالعه اثر تغییر اقلیم بر ویژگی های رشد و عملکرد گندم رقم سرداری با استفاده از مدل گردش عمومی. علوم و صنایع کشاورزی. ۲۰ (۷): ۸۳-۹۵.

۶. مدحج ع. و فتحی ق (۱۳۸۷). فیزیولوژی گندم. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر. شوشتر. ۳۱۷ صفحه.

7. Acock B and Acock MC (1993). Modelling approaches for predicting crop ecosystem responses to climate change. Crop Science Society of America, 306 pp.

8. Aggarwal PK (1991). Simulation growth, development and yield of wheat in warm area. PP 429-435. In (eds) Sanders, D.A and G.H. Hettle. Wheat in heat stressed environments. Irrigated, dry areas and rice-wheat farming system, CIMMYT, Thailand, 549 p. Geerts, S., Raes, D. and M. Garcia. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. Agricultural Water Management. 98: 213-216.

9. Easterling WE, Aggarwal PK, Batima P, Brander KM and others (2007) Food, fibre and forest products. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, p 273–313.
10. Harmsen EW, Miller NL, Schlegel NJ and Gonzalez JE (2009) Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. *Agricultural Water Management*. 96: 1085-1095.
11. IPCC (2001) Climate change. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds. Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Callander, B.A., Harris, N., Attenberg, A. and Maskell K., 572 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
12. IPCC (2001) Summary for Policymakers, in McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S. (eds.) (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-17.
13. IPCC-TGICA (2007) General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
14. Ko J, Ahuja L, Kimball B, Anapalli S, Mab L, Green T.R, Ruaned A.C, Wall G.W, Pinter P. and Bader D. A (2010) Simulation of free air CO2 enriched wheat growth and interactions with water, nitrogen, and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150:1331-1346.
15. Lobell D.B and Ortiz-Manasterio I (2006). Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES. *Agricultural Water Management*. 84: 249-258.
16. Luo Q, Williams MAJ, Bellotti W and Bryan B (2003). Quantitative and visual assessments of climate change impacts on South Australian wheat production. *Agricultural Systems*. 77: 173-186.
17. Mereu V (2009). Climate change impact on durum wheat in Sardinia. *Agrometeorology and Ecophysiology of agricultural Systems and Forestry*. XXII ciclo – Università degli Studi di Sassari. Ph.D. Dissertation.
18. Minguéz MI, Ruiz-Ramos M, Diaz-Ambrona CH, Quemada M and Sau F (2007). First-order impacts on winter and summer crops assessed with various high-resolution climate models in the Iberian Peninsula. *Climate Change*. 81:343–355.
19. Mo X, Liu S, Lin Z and Guo R (2009). Regional crop yield, water consumption and water use efficiency and their responses to climate change in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 134: 67–78.
20. 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 Environ Change*. 14: 53-67.
21. Rosenberg, NJ, Kimball BA, Martin P, Cooper CF (1990). From climate and CO2 enrichment to evapotranspiration. *Climate Change and US Water Resources*, 286 pp.

22. Ruiz-Ramos M and Minguéz MI (2010). Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula. *Climate Research*. 44: 69-82.
23. Samad MA, Rahman MM, Amin MR, Sarkar ZI and Islam M (1994). Selecting trials for breeding heat tolerant wheat varieties. Pp: 379-381. in(eds) Sanders, DA and GH Hettle. *Wheat in heat stressed environments. Irrigated, dry areas and rice-wheat farming system, CIMMYT, Thailand*, 549 p.
24. Semenov MA and Stratonovitch P (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*. 41: 1-14.
25. Semenov MA and Barrow EM (2002). LARS-WG, A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. Version 3.0. User Manual.
26. Tubiello FN and Ewert F (2002). Simulating the effects of elevated CO<sub>2</sub> on crops: approaches and applications for climate change. *European Journal of Agronomy*. 18:57-74.
27. White JW, Hoogenboom G, Kimball BA and Wall GW (2011). Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research*. 124: 357-368.