

## اثر تغییر اقلیم بر برخی شاخص‌های مؤثر در رشد گندم دیم (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)

نسرین دلاور<sup>۱</sup>، سمیرا اخوان<sup>۱\*</sup> و عبدالمحمد محنت‌کش<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۹)

### چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر برخی شاخص‌های مؤثر در رشد گندم دیم مانند بارش مؤثر، تاریخ کاشت و طول دوره رشد در چهار ایستگاه واقع در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. ابتدا می‌بایست شرایط اقلیمی دوره آبی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) پیش‌بینی گردد. بدین منظور از خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 استفاده گردید. ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها، توسط مدل LARS-WG صورت گرفت. پس از شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دوره مذکور میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد گندم به روش فائو و همچنین تاریخ کاشت مناسب با توجه به تاریخ وقوع اولین بارش پاییزه حداقل ۱۰ میلی‌متر به شرط تداوم یافتن در روزهای بعد، تعیین شد. مراحل رشد گندم هم با محاسبه GDD (درجه روز رشد) به دست آمد. نتایج حاکی از افزایش دما در هر چهار ایستگاه می‌باشد. به طور متوسط افزایش ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی دمای سالانه استان نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۰) قابل انتظار است. مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ و بروجن به ترتیب ۲/۲، ۷/۸ و ۳/۶ درصد کاهش و ایستگاه لردگان ۲/۷ درصد افزایش خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد در سه ایستگاه شهرکرد، کوهرنگ و بروجن مقدار بارش مؤثر در آبان ماه نسبت به دوره پایه افزایش، اما در لردگان با کاهش مواجه خواهد شد. بدین ترتیب در سه ایستگاه اول، تاریخ کاشت در اغلب سال‌ها زودتر و در لردگان دیرتر از دوره پایه به دست آمد. طول دوره رشد نیز در ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن و لردگان به‌طور متوسط ۱۲ روز و در کوهرنگ ۱۳ روز کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، گندم دیم، بارش مؤثر، سناریوهای اقلیمی، درجه روز رشد، ریزمقیاس‌نمایی

۱. گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

۲. بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: akhavan\_samira@yahoo.com

## مقدمه

دی‌اکسیدکربن سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان سه کربنه در مقایسه با گیاهان چهار کربنه بیشتر بوده است. به موازات افزایش در سرعت تجمع ماده خشک به دلیل بالا رفتن دمای محیط در اثر افزایش دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای، تنفس نگهداری نیز افزایش نشان می‌دهد. تغییر در خصوصیات کیفی محصولات زراعی از جمله مقدار پروتئین نیز در اثر تغییر در پارامترهای اقلیمی قابل انتظار می‌باشد (۲۲). همچنین تغییر اقلیم می‌تواند به شدت بر محصول گندم که تأمین کننده ۲۱ درصد از مواد غذایی و در برگیرنده ۲۰۰ میلیون هکتار از اراضی در سراسر دنیاست، تأثیرگذار باشد. انتظار می‌رود که در دوره منتهی به سال ۲۰۲۰، در کشورهای در حال توسعه، تقاضای سالانه گندم برای مصرف انسان ۱/۶ درصد و برای مصارف خوراک دام ۲/۶ درصد افزایش یابد. این در حالی است که گرمایش جهانی به عنوان یکی از نتایج تغییر اقلیم، ممکن است بالقوه منجر به کاهش عملکرد گندم، افزایش عدم امنیت غذایی و فقر شود (۳۱).

سادی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، نیاز آبی و عملکرد گندم زمستانه در منطقه مدیترانه با استفاده از سناریوی AIB در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۵۰ پرداختند و دریافتند که متوسط طول دوره رشد در سال ۲۰۵۰، ۱۵ روز و تبخیر و تعرق گیاه نیز ۶ درصد کاهش می‌یابد (۳۲). همچنین نیاز خالص آبیاری گندم تحت شرایط بهینه تأمین آب با کاهش ۱۱ درصدی مواجه خواهد شد. چانگ و همکاران تأثیر موج گرمایی بر عملکرد ذرت را در آمریکا بررسی کردند (۲۷). نتایج کلی، کاهش عملکرد محصول را در دهه ۲۰۵۰ به دلیل وقایع حدی اقلیمی (مانند خشکسالی و موج گرمایی) نشان داد. اشرف واقفی و همکاران با تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی در تولید گندم در ۵ منطقه مهم کشاورزی در حوضه رود کرخه، کاهش عملکرد ۳۳۰۰۰ تا ۷۴۰۰۰ تن در سال را در دوره اقلیمی ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) گزارش

در چند دهه اخیر، اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر سیستم‌های انسانی و محیطی، به کانون توجهات در مجامع علمی تبدیل شده است (۲۸). پدیده تغییر اقلیم عمدتاً ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) در دهه‌های گذشته در جو زمین می‌باشد و می‌تواند بر کلیه فرآیندهای منابع طبیعی، منابع آب، صنعت، بهداشت و به طور کلی بر زندگی بشر تأثیرگذار باشد. طبق پنجمین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، تردیدی در گرمایش سیستم‌های اقلیمی جهانی وجود ندارد. به نحوی که اغلب مدل‌های تغییر اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند که سطح جهانی دما تا پایان قرن ۲۱ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۸۵۰ بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. البته با دید بدبینانه تر این میزان به ۲ درجه سانتی‌گراد هم خواهد رسید (۱۱). مهم‌ترین تبعات تغییر اقلیم، تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی خواهد بود. به طوری که انتظار می‌رود این پدیده‌ها در دهه‌های آینده روند افزایشی داشته باشند (۸).

در حال حاضر اقلیم‌شناسان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم، از مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس استفاده می‌کنند (۳۶). خروجی این مدل‌ها با دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس می‌شوند. استفاده از مدل‌های دینامیکی برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است. اما در روش آماری در عرض چند ثانیه می‌توان ریزمقیاس نمایی را برای یک سایت یا ایستگاه مشخص برای چندین ده سال انجام داد (۴). لذا استفاده از روش‌های آماری، به خصوص در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر آب و هوایی، مورد نیاز باشد، مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری دارد (۱۵). افزایش دی‌اکسیدکربن محیط رشد گیاه در هر دو شرایط کنترل شده و مزرعه باعث افزایش بیشتر سرعت رشد گیاه و به نسبت کمتری به کوتاه شدن دوره‌های نمو با توجه به خصوصیات ژنتیکی گیاهان شده و با افزایش

جدول ۱. خصوصیات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان چهارمحال و بختیاری

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم (دومارتن)
شهرکرد	۵۱° ۵۱'	۳۲° ۱۷'	۲۰۴۸/۹	نیمه خشک
کوه‌رنگ	۷° ۵۰'	۳۲° ۲۶'	۲۲۸۵	بسیار مرطوب
بروجن	۱۸° ۵۱'	۳۱° ۵۷'	۲۱۹۷	خشک
لردگان	۴۹° ۵۰'	۳۱° ۳۱'	۱۵۸۰	مدیترانه‌ای

توپوگرافی، از لحاظ آب و هوایی متنوع بوده و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد. در این مطالعه از داده‌های اقلیمی ۴ ایستگاه سینوپتیک شهرکرد، کوه‌رنگ، بروجن و لردگان استفاده گردید. جدول (۱) خصوصیات ایستگاه‌های مورد مطالعه و اقلیم آنها را براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (۱۲) و شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی می‌باشد. این داده‌ها در یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۱۰) جهت تهیه فایل‌های مورد نیاز مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG آماده گردیدند.

#### شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ توسط

##### LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد که برای تولید بارش روزانه، تابش، حداکثر و حداقل درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، استفاده از توزیع‌های نیمه‌تجربی می‌باشد. سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه به‌صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند (۵). در این مدل فرآیند تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی در سه بخش انجام می‌گیرد: کالیبره کردن،

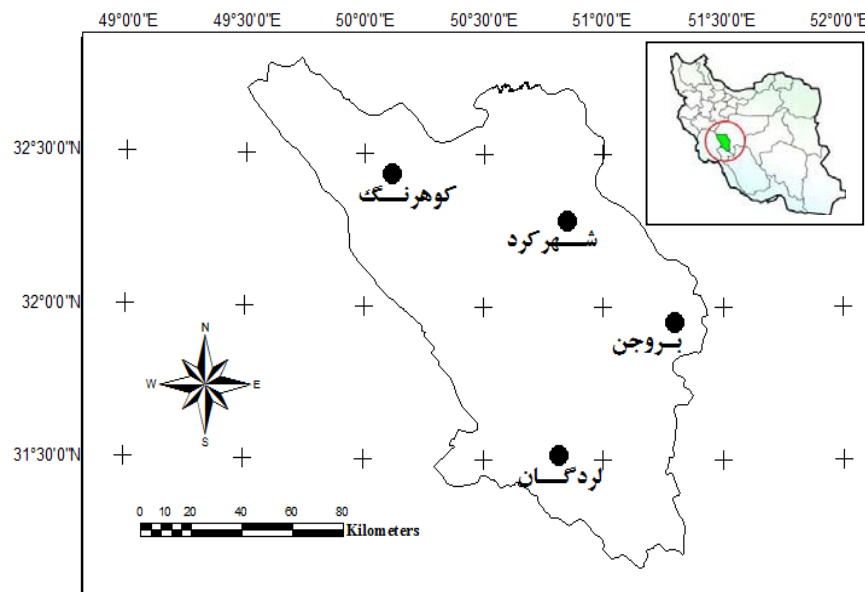
کردند (۲۳). محمدی و همکاران به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دیم در کرمانشاه پرداختند (۲۰). یافته‌های این پژوهش نشان داد که در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۳، نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ طول دوره رشد ۲۵ روز کوتاه‌تر خواهد شد و دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم دیم بین ۹ تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت.

با توجه به اثرات وسیع تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی به‌ویژه زراعت دیم و با عنایت به این که حدود ۴/۲ میلیون هکتار از اراضی کشور تحت کشت دیم می‌باشد (۲۴)، لازم است تحقیقاتی جهت بررسی این تغییرات و اثرات ناشی از آن بر محصولات کشاورزی از جمله گندم که غذای اصلی در کشور ما محسوب می‌شود، انجام گیرد تا راهکارهای مناسب برای مقابله با عوارض منفی پدیده تغییر اقلیم و سازگاری با آن اعمال گردد. پژوهش حاضر نیز به‌منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی بر بارش مؤثر، تاریخ کاشت و طول دوره رشد گندم دیم در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز

این مطالعه در محدوده استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع انجام پذیرفته است. این استان بین عرض شمالی ۹° ۳۱' تا ۴۸° ۳۲' و نیز طول شرقی ۲۸° ۴۹' تا ۲۵° ۵۱' قرار گرفته است. استان چهارمحال و بختیاری با وجود مساحت کم (یک درصد از کل وسعت ایران)، ده درصد از منابع آب کشور را در اختیار دارد (۱۲). همچنین به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های منتخب استان چهارمحال و بختیاری

دهنده رشد سریع اقتصادی جهان، حداکثر رشد جمعیت در اواسط قرن حاضر وجود داشته و تکنولوژی با کارایی بالا براساس تعادل انرژی موجود می باشد. براساس این سناریو غلظت CO<sub>2</sub> حدود ۱۵ گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین ۱/۷ تا ۴/۴ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت)، سناریوی متوسط A۲ (بیانگر شرایط بسیار ناهمگن محیطی، رشد بالای جمعیت، توسعه ناچیز اقتصادی و تغییرات کند تکنولوژیکی. براساس این سناریو غلظت CO<sub>2</sub> حدود ۳۰ گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین ۲ تا ۵/۴ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت) و سناریوی خوشبینانه B۱ (شامل جهانی هم‌گرا که بیشترین رشد جمعیت در اواسط قرن حاضر اتفاق افتاده و رشد سریع در بخش اقتصادی و تکنولوژیکی وجود دارد. براساس این سناریو غلظت CO<sub>2</sub> تغییر چندانی نداشته و دما بین ۱/۱ تا ۲/۹ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت) اجرا و مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تولید شد (۲۱).

جدول (۲) مشخصات مدل HADCM۳ را نشان می دهد. این مدل از جمله مدل‌های ثبت شده در مدل

صحت‌سنجی و تولید داده‌های هواشناسی (۳). صحت‌سنجی مدل با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R<sup>۲</sup>)، میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) مطابق روابط (۱ تا ۴) صورت گرفت. همچنین آزمون تی‌استودنت جهت بررسی معنی‌داری تفاوت میانگین‌های ماهانه شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح ۵ درصد آماری استفاده شد.

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

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

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad [3]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad [4]$$

پس از بررسی توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، برای ریزمقیاس کردن خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM۳ تحت سناریوی بدبینانه A۱B (نشان

جدول ۲. مشخصات مدل تغییر اقلیمی جهانی HADCM۳ (۳۳)

مدل تغییر اقلیم	مرکز تحقیقاتی	دقت شبکه‌ای	سناریوهای انتشار
HADCM۳	مرکز هواشناسی انگلستان	$2/5 \times 3/75^\circ$	A1B, A2, B1

$$P_{\text{eff}} = 0.6 \times P - 10 \quad \text{for } P \leq 70 \text{ mm} \quad [5]$$

$$P_{\text{eff}} = 0.8 \times P - 24 \quad \text{for } P \geq 70 \text{ mm} \quad [6]$$

در این روابط  $P_{\text{eff}}$  بارش مؤثر ماهانه و  $P$  بارش ماهانه برحسب میلی‌متر می‌باشد.

### تأثیر تغییر اقلیم بر تغییر تاریخ کاشت و طول دوره رشد گندم دیم

تاریخ شروع بارندگی یکی از عوامل مهم در تعیین کشت محصولات زراعی است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آب یکی از عوامل محدود کننده برای کشت است، با اطلاع از تاریخ شروع، خاتمه و طول دوره بارندگی، می‌توان تاریخ کاشت را طوری تنظیم کرد که مصرف آب در کشت‌های آبی به حداقل برسد (۲۰).

بدیهی است که در زراعت گندم دیم تاریخ کاشت تقریباً همان تاریخ وقوع اولین بارندگی پاییزه محسوب می‌شود، بارندگی‌های پراکنده به میزان ۵ و ۱۰ و حتی ۱۵ میلی‌متر در اوایل فصل غیر مفید بوده مگر این که متعاقب آن بارندگی‌های بیشتری رخ دهد. زیرا این مقادیر کم، به سرعت تبخیر شده و در خاک ذخیره نمی‌گردد (۱۴). بدین ترتیب، تاریخ وقوع اولین بارش پاییزه حداقل ۱۰ میلی‌متر به شرط تداوم یافتن بارندگی در روزهای بعد از آن، به عنوان تاریخ کاشت انتخاب شد. براساس تاریخ‌های کاشت به‌دست آمده، درجه روز رشد (Growing Degree Days) برای هر یک از مراحل رشد گندم مطابق رابطه (۷) محاسبه شد تا تاریخ آغاز و پایان هر مرحله از رشد گیاه به‌دست آید.

$$GDD = \sum_a^b \left( \left[ \frac{T_{\text{min}} + T_{\text{max}}}{2} \right] - T_b \right) \quad [7]$$

در این رابطه،  $GDD$ ، درجه روزهای رشد (حرارت تجمعی)،  $T_{\text{min}}$  و  $T_{\text{max}}$  درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه

ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG می‌باشد که در اغلب مطالعات داخلی در زمینه تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است (۱)، ۸، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۱). به همین دلیل در این تحقیق نیز به کار گرفته شده است. داده‌های این مدل تغییر اقلیم تحت هر سه سناریوی مذکور در بانک اطلاعاتی مدل LARS-WG موجود می‌باشد.

### محاسبه بارش مؤثر در زراعت گندم دیم

ارقام سرداری، آذر ۲ و ارقام محلی از جمله رقم‌های گندم دیم کشت شده در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. نتایج تقویم کاشت گندم دیم در این استان حکایت از متفاوت بودن تاریخ کاشت در مناطق مختلف استان دارد. در مجموع بهترین تاریخ شروع کاشت گندم دیم دهه دوم آبان ماه به بعد است (۲).

قبل از بررسی بارش مؤثر دو نمایه تغییر اقلیم، یعنی تعداد روز بارانی و تعداد روز با بارندگی سنگین در دوره آبی بررسی شد. براساس تعریف ارائه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی، روز بارانی به روزی اطلاق می‌شود که دارای حداقل ۲ میلی‌متر بارندگی باشد. همچنین به روزی که بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر بارش داشته باشد، روز با بارندگی سنگین گفته می‌شود (۳۰).

محاسبه مقادیر بارش مؤثر به‌عنوان یکی از منابع تأمین آب مورد نیاز برای کشاورزی به‌خصوص در زمینه کشت دیم می‌باشد. تحلیل تغییرات بارش مؤثر از اقدامات مطالعاتی زیربنایی به شمار می‌رود که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مربوطه مورد استفاده قرار گیرد (۱۶). در این تحقیق به منظور برآورد بارش مؤثر در دوره رشد گندم که از آبان تا خرداد در نظر گرفته شده است، از روش فائو طبق روابط (۵ و ۶)، استفاده شد (۷).

درجه سانتی‌گراد و بالاتر در مرحلهٔ پر شدن نیز می‌تواند سبب افزایش تبخیر و تعرق گیاه، تنش آبی، چروکیدگی شدن دانه‌ها، کاهش وزن هزار دانه و نهایتاً افت عملکرد محصول شود (۱۱). احتمال وقوع دماهای نامناسب نیز در مراحل مختلف رشد بررسی شد. بدین ترتیب که احتمال وقوع دمای نامناسب در هر مرحله برابر است با نسبت تعداد روزهایی با دمای نامناسب به تعداد کل روزهای مورد بررسی در هر بازه.

### نتایج و بحث

جدول (۳) نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG و داده‌های مشاهداتی را در دورهٔ پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) نشان می‌دهد. مقدار ضریب تعیین در کلیهٔ ایستگاه‌ها و برای تمامی پارامترهای اقلیمی از مقدار قابل توجهی برخوردار می‌باشد. شبیه‌سازی بارش نسبت به پارامترهای دیگر، دقت کمتری را نشان می‌دهد چراکه آماره‌های خطاسنجی در مورد این پارامتر اقلیمی مقادیر بالاتری دارند. بیشترین مقدار آماره میانگین خطای مطلق مربوط به بارش و بالاترین مقدار آن در ایستگاه کوه‌رنگ به میزان ۳/۱۳ میلی‌متر می‌باشد. بالاترین مقدار میانگین خطای مطلق در مورد تابش خورشیدی متعلق به ایستگاه لردگان به مقدار ۲/۲۶ مگاژول بر مترمربع بر روز است. در مجموع مقادیر شاخص‌های خطاسنجی نیز نسبتاً پایین می‌باشد که بیانگر انطباق قابل قبول مقادیر مدل‌سازی شده و مشاهداتی در دورهٔ پایه است. همچنین مقادیر به‌دست آمده از آزمون تی‌استیودنت در تمامی موارد حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های ماهانه پارامترهای شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح اطمینان ۵ درصد می‌باشد.

### تغییرات دما و بارش

شکل‌های (۲ تا ۴) به ترتیب میانگین ماهانه دمای حداقل و حداکثر و بارش را هر دو دورهٔ پایه و آبی در ایستگاه‌های منتخب استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد. همان‌طور که

(برحسب درجه سانتی‌گراد)،  $T_b$  درجه حرارت پایه (برحسب درجه سانتی‌گراد)،  $a$  تاریخ شروع مرحلهٔ فنولوژیکی و  $b$  تاریخ پایان مرحلهٔ فنولوژیکی هستند. قابل ذکر است که درجه حرارت پایه، پایین‌ترین درجه حرارتی است که فرض می‌شود پایین‌تر از آن رشدی وجود ندارد. در این مطالعه برای محاسبه GDD درجه حرارت پایه صفر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. در صورتی که درجه حرارت متوسط روزانه برابر یا کمتر از درجه حرارت پایه باشد مقدار GDD برابر با صفر می‌شود (۱۰). همچنین اگر حداکثر دمای روزانه بیشتر از یک حد معین بود، برابر با همان حد معین، قرارداد می‌شود. این حد معین برای گندم ۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (۹).

بنابراین با داشتن مقدار درجه حرارت لازم برای رشد در هر مرحله و درجه حرارت در منطقهٔ مورد مطالعه مراحل مختلف فنولوژی گیاهان پیش‌بینی شد. واحدهای حرارتی مورد نیاز گیاه در مراحل حساس رشد به این صورت می‌باشد:

الف) کل واحدهای حرارتی از تاریخ کاشت تا سبز شدن ۱۸۰ درجه-روز.

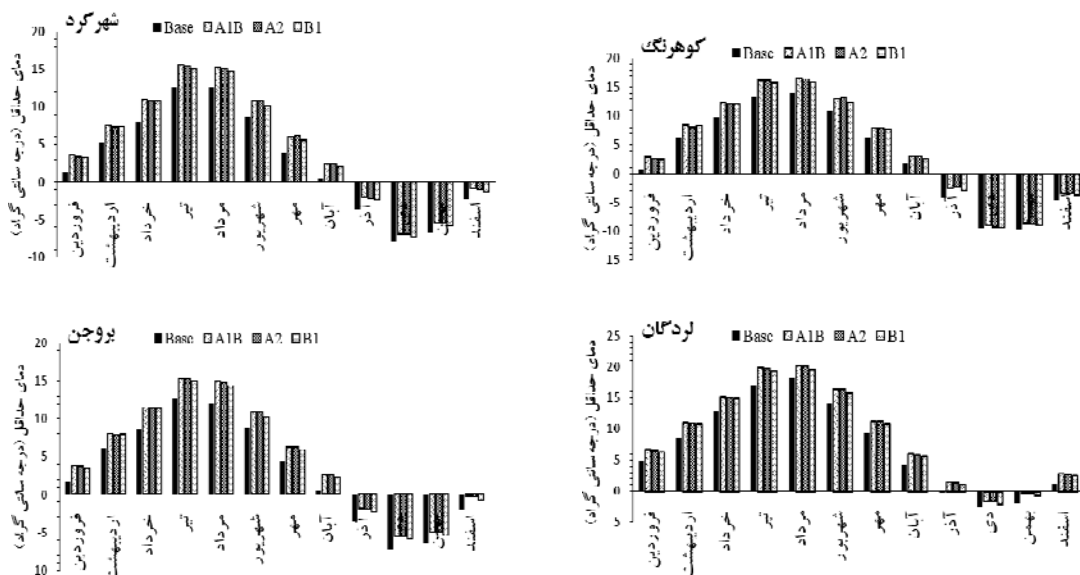
ب) کل واحدهای حرارتی از تاریخ کاشت تا دورهٔ گل‌دهی ۱۵۰۰ درجه-روز.

ج) کل واحدهای حرارتی از تاریخ کاشت تا دورهٔ پر شدن دانه ۲۳۰۰ درجه-روز (۱۷).

بدین ترتیب مراحل مختلف رشد در تمامی سال‌ها و برای کلیه ایستگاه‌ها تحت هر سه سناریوی تغییر اقلیم تعیین شد. در مرحله بعد شرایط دمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به نیازهای حرارتی گندم دیم در مراحل مذکور مورد بررسی قرار گرفت. درجه حرارت مناسب برای جوانه زنی ۱۴-۸ درجه سانتی‌گراد است به شرطی که درجه حرارت روزانه به صفر نرسد. در مرحلهٔ گل‌دهی چنانچه دمای حداکثر روزانه از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر برود، سبب عقیمی اندام‌های نر در گندم می‌گردد که نهایتاً باعث افت عملکرد محصول می‌گردد (۱۰). درجه حرارت‌های ۳۰

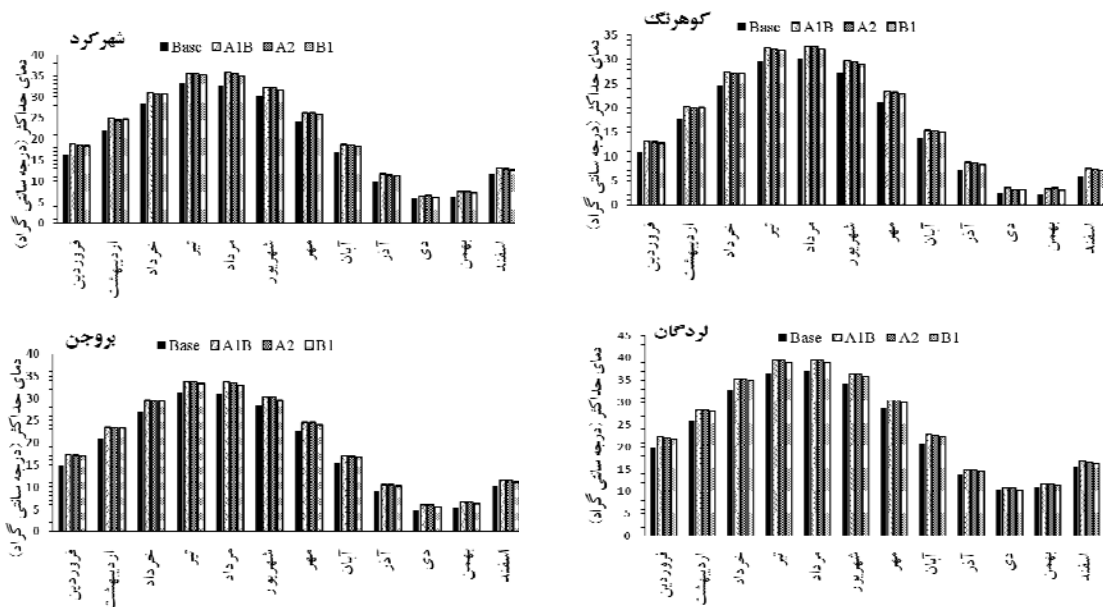
جدول ۳. ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) با استفاده از آماره‌های واسنجی و آزمون تی استودنت

ایستگاه	آماره	بارش	دمای حداقل	دمای حداکثر	تابش خورشیدی
شهرکرد	$R^2$	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE	۴/۰۸	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۲۴
	MBE	-۱/۲۸	-۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱
	MAE	۲/۴۵	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۲۱
	p-value	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۸۵
کوه‌رنگ	$R^2$	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE	۵/۹۰	۰/۳۴	۰/۲۷	۰/۲۲
	MBE	۱/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۰۱
	MAE	۳/۱۳	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۱۹
	p-value	۰/۵۲	۰/۳۵	۰/۶۴	۰/۷۸
بروجن	$R^2$	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE	۲/۶۷	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۲۸
	MBE	-۰/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۹
	MAE	۲/۰۴	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲۶
	p-value	۰/۳۲	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۲۵
لردگان	$R^2$	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۲۲
	MBE	-۰/۷۸	۰/۰۱	-۰/۰۷	-۰/۶۰
	MAE	۲/۹۸	۰/۱۵	۰/۲۲	۲/۲۶
	p-value	۰/۶۱	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۴۶

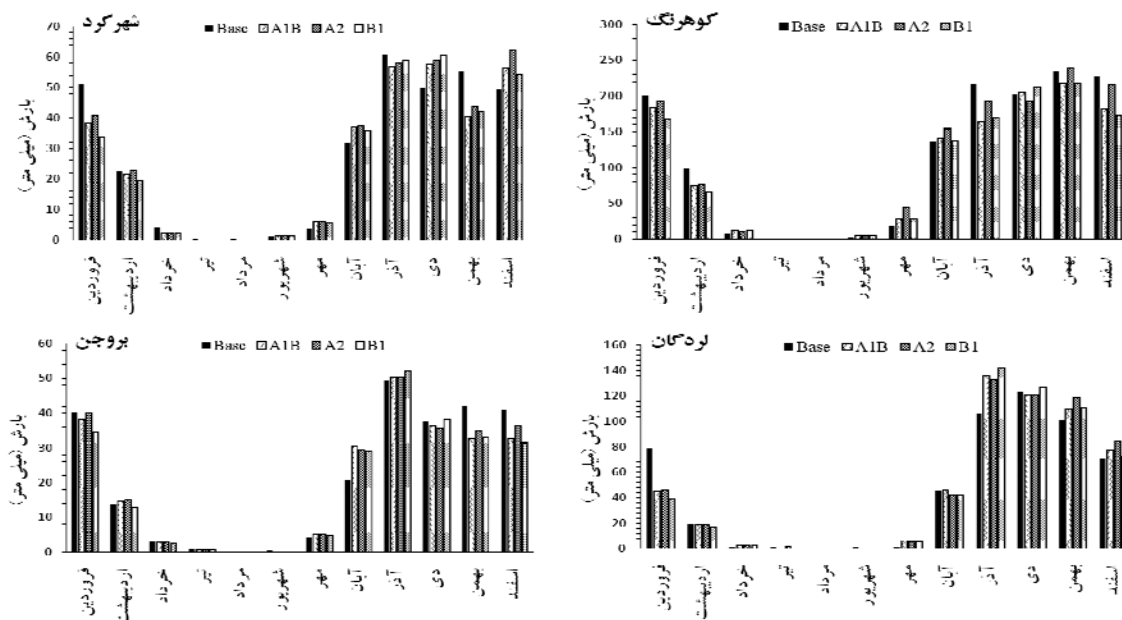


شکل ۲. میانگین ماهانه دمای حداقل استان چهارمحال و بختیاری در دوره‌های ۱۹۹۱-۲۰۱۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵

تحت سناریوهای A1B, A2 و B1



شکل ۳. میانگین ماهانه دمای حداکثر استان چهارمحال و بختیاری در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴. میانگین ماهانه بارش استان چهارمحال و بختیاری در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوهای A2، A1B و B1

امر در مورد بارش، کمتر صادق است. چرا که جهت تغییرات هم به صورت افزایشی و هم کاهش دیده می‌شود. از طرفی در برخی موارد نتایج سه سناریو، مطابقت ندارند. در ایستگاه شهرکرد تحت سناریوهای A1B و A2، تیرماه

در شکل‌ها نشان داده شده است، جهت تغییرات دمای حداقل و حداکثر در کلیه ماه‌ها یکسان و در جهت افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد. سناریوهای در نظر گرفته شده نیز در مورد تغییرات این دو پارامتر اقلیمی، از تطابق زیادی برخوردار می‌باشند. این

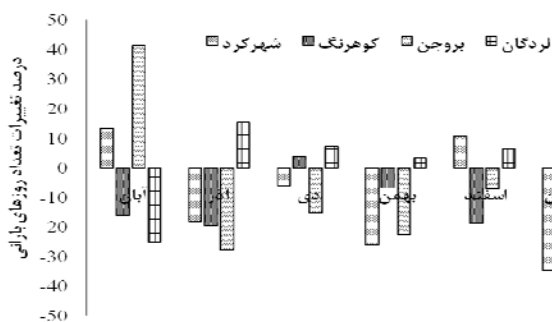


شکل (۴) در ایستگاه شهرکرد انتظار می‌رود که به ازای هر سه سناریو از فروردین تا مرداد به انضمام ماه‌های آذر و بهمن، کاهش بارش نسبت به دوره پایه رخ دهد. بیشترین درصد کاهش بارش (۶۹/۲، ۶۹/۲ و ۳۸/۴ درصد به ترتیب تحت سناریوهای A1B، A2 و B1) مربوط به مرداد ماه خواهد بود که با توجه به حجم کم بارش در این ماه و به طور کلی در فصل تابستان، این کاهش از اهمیت چندانی برخوردار نخواهد بود. به طور میانگین سناریوها، کاهش متوسط ۵۱/۲ و ۲۶/۲ درصدی بارش را به ترتیب در ماه‌های خرداد و فروردین نشان می‌دهند. افزایش ۷۲/۴، ۷۵/۸ و ۵۹/۳ درصدی بارش‌ها در مهر ماه از دیگری نتایجی است که سناریوهای فوق به ترتیب گزارش می‌کنند. افزایش بارش‌های تابستانه در ایستگاه کوه‌رنگ محسوس می‌باشد. در خرداد ماه نیز افزایش ۷۹/۰، ۴۸/۰ و ۶۸/۰ درصدی به ترتیب براساس سناریوهای مورد مطالعه مشاهده می‌شود. افزایش بارش در مهرماه به‌ویژه تحت سناریوی A2 با مقداری معادل ۲/۵ برابر بارش در دوره پایه کاملاً محسوس می‌باشد. دو سناریوی A1B و A2 افزایش ۳/۰ و ۱۳/۰ درصدی بارش را در آبان ماه بیان می‌کنند در حالی که پیش بینی سناریوی سوم در جهت کاهش این پارامتر اقلیمی، هر چند به میزان ناچیز (۰/۱ درصد) می‌باشد. بالاترین درصد کاهش بارش (۳۳ درصد) توسط سناریوی B1 در اردیبهشت ماه دیده می‌شود.

کاهش ۲۵/۰ تا ۶۵/۰ درصدی بارش در ماه‌های مختلف فصل تابستان و تحت سناریوهای مورد مطالعه، افزایش متوسط ۲۰/۳، ۴۳/۴ و ۳/۱ درصدی بارش در ماه‌های مهر تا آذر و کاهش ۲/۶، ۲۰/۶ و ۱۸/۸ درصدی آن در ماه‌های دی تا اسفند هم از جمله نتایجی است که برای ایستگاه بروجن به دست آمده است. براساس نتایج به دست آمده، انتظار می‌رود که ایستگاه لردگان به طور متوسط تحت هر سه سناریو با کاهش ۴۴/۶ و ۶۶/۰ درصدی بارش به ترتیب در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مواجه شود. در حالی که سناریوهای A2 و B1 بیانگر کاهش ۶/۶ و ۶/۹ درصدی بارش آبان ماه می‌باشند،

بیشترین میزان افزایش را در دمای حداقل (به ترتیب ۳ و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد) دارد. سناریوی B1 نیز افزایش ۲/۷ درجه سانتی‌گرادی برای خرداد و سپس افزایش ۲/۶ درجه سانتی‌گرادی را برای تیرماه نشان می‌دهد. کمترین مقدار افزایش به‌ازای هر سه سناریو در دی ماه گزارش شد. مقادیر مربوط به سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب عبارتند از: ۱/۱، ۱/۱ و ۰/۶۵ سانتی‌گراد. ۲/۹ و ۲/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش در دمای حداکثر، بالاترین آمار پیش‌بینی شده توسط سناریوهای A1B و A2 برای تیرماه در این ایستگاه می‌باشد. مشابه با دمای حداقل سناریوی B1 بالاترین افزایش (۲/۴ درجه سانتی‌گراد) را به ماه خرداد اختصاص داده است. کمترین میزان در افزایش دمای حداکثر برای دی ماه معادل ۰/۶، ۰/۶ و ۰/۲ به ترتیب توسط سناریوهای مذکور مشاهده می‌شود. همچنین نتایج حاکی از آن است که در ایستگاه‌های کوه‌رنگ و لردگان، تیرماه بیشترین افزایش دمای حداقل را تحت هر سه سناریو تجربه خواهد کرد. میزان افزایش این پارامتر اقلیمی در ایستگاه کوه‌رنگ براساس سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب ۲/۹، ۲/۸ و ۲/۴ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه لردگان تحت سناریوهای مذکور به ترتیب ۲/۷، ۲/۷ و ۲/۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در ایستگاه بروجن به ازای دو سناریوی اول، مراد ماه با ۲/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای حداقل، بالاترین میزان افزایش را به خود اختصاص داده است. در حالی که سناریوی B1 بیشترین افزایش (۲/۳ درجه سانتی‌گراد) را در تیر ماه گزارش می‌کند. به غیر از ایستگاه بروجن که کمترین افزایش دمای حداقل را در بهمن ماه (به ترتیب تحت سناریوهای فوق ۱/۴، ۱/۴ و ۱ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد، در سایر ایستگاه‌ها، هم دمای حداقل و هم دمای حداکثر تحت هر سه سناریو، کمترین افزایش را در ماه دی نشان می‌دهند. به طور متوسط افزایش ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی دمای سالانه استان نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۰) قابل انتظار است.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد تغییرپذیری بارش بیشتر از دما ست. به عبارتی عدم قطعیت در مورد آن بیشتر می‌باشد. مطابق



شکل ۵. درصد تغییرات تعداد روزهای بارانی استان چهارمحال و بختیاری در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ به طور متوسط تحت هر سه سناریو A1B، A2 و B1

ایستگاه بروجن محسوب می‌شوند. برخلاف سه ایستگاه دیگر، افزایش در تعداد روز بارانی در ایستگاه لردگان در اغلب ماه‌ها مشاهده می‌شود. تنها ماه‌های آبان و فروردین به ترتیب ۳۲/۰ و ۲۵ درصد، کاهش را نشان می‌دهند. براساس جدول (۴)، بارش‌های این ایستگاه در دوره آتی به صورت سنگین می‌باشد. نتایج هر سه سناریو مؤید این امر می‌باشد. در سایر ایستگاه‌ها عکس این قضیه صادق است. به طوری که به استثنای ایستگاه شهرکرد که تحت سناریوی A2 با افزایش بسیار ناچیز ۰/۹ درصدی نسبت به دوره پایه مواجه خواهد بود، بقیه موارد، کاهش تعداد روزهای شامل بارندگی سنگین را نشان می‌دهند. گفتنی است با وجود افزایش قابل توجه در تعداد روزهای بارانی در آبان ماه در ایستگاه بروجن نسبت به ایستگاه لردگان، در مجموع درصد افزایش بارش لردگان بیشتر از بروجن خواهد بود، که دلیل آن، مقدار بارش روزانه می‌باشد. به این معنی که در ایستگاه لردگان بارش‌های سنگین بیشتر خواهد بود. در یک نگاه کلی شاهد کاهش مجموع تعداد روزهای بارندگی در طول فصل رشد گندم دیم در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه نسبت به دوره پایه می‌باشیم (شکل ۶). این کاهش در ایستگاه شهرکرد و سپس بروجن محسوس‌تر خواهد بود. لردگان کمترین درصد کاهش را به خود اختصاص داده است. (جدول ۴) میزان بارش سالانه ایستگاه‌ها در دوره آتی را نیز نشان می‌دهد. مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ و بروجن به ترتیب

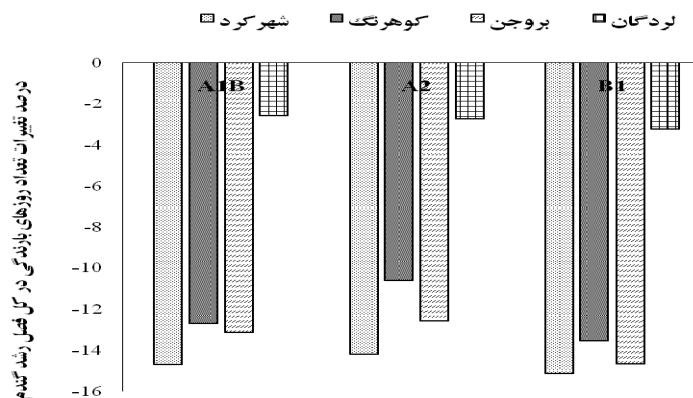
سناریوی A1B افزایش بسیار ناچیزی (۰/۲ درصد) را برای این ماه نشان می‌دهد. افزایش بارش در آذر ماه قابل انتظار است. به نحوی که سناریوی A1B، ۲۷/۹ درصد، سناریوی B1، ۲۴/۴ درصد و سناریوی A2، ۳۲/۸ درصد را پیش‌بینی می‌کنند. هر سه سناریو، برای ماه‌های بهمن و اسفند نیز افزایش بارش را گزارش می‌کنند. بیشترین افزایش هم توسط سناریوی A2 به ترتیب ۱۷/۴ و ۱۹/۲ درصد برای ماه‌های فوق مشاهده می‌شود.

#### تغییرات بارش مؤثر

مطابق شکل (۵)، کاهش تعداد روزهای بارانی در دوره آتی در اغلب ایستگاه‌ها و ماه‌های مورد بررسی، انتظار می‌رود. بیشترین افزایش در تعداد روز بارانی مربوط به ایستگاه بروجن در آبان ماه و ایستگاه لردگان در خردادماه، به ترتیب برابر ۴۱/۲ و ۲۵/۰ درصد می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از کاهش تعداد روزهای بارانی در طول دوره رشد گندم به استثنای ماه‌های آبان و اسفند در ایستگاه شهرکرد است، به نحوی که بیشترین درصد کاهش (۳۹/۴ درصد)، در این ایستگاه در خرداد ماه دیده می‌شود. کاهش ۳۴/۸، ۲۶/۰ و ۱۸/۱ درصدی در ماه‌های فروردین، بهمن و آذر در این ایستگاه نیز قابل توجه می‌باشد. در ایستگاه کوهرنگ، ماه‌های آذر، اسفند و بهمن به ترتیب با ۱۹/۴، ۱۸/۹ و ۱۶/۰ درصد کاهش مواجه خواهند بود. ۲۷/۹ و ۲۲/۶ درصد کاهش در ماه‌های آذر و بهمن بالاترین درصد کاهش برای

جدول ۴. درصد تغییرات تعداد روزهای بارندگی سنگین و میانگین بارش سالانه استان چهارمحال و بختیاری در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵

ایستگاه	سناریو	درصد تغییرات تعداد روزهای بارندگی سنگین	تعداد روزهای بارندگی سنگین	میانگین بارش سالانه طی فصل رشد (mm)
شهرکرد	A1B	-۳/۹	۲۱۵	۳۱۷
	A2	۰/۹	۲۲۶	۳۳۲/۹
	B1	-۵/۷	۲۱۱	۳۱۲/۸
کوهرنگ	A1B	-۷/۳	۶۵۶	۱۲۱۰/۲
	A2	-۲/۶	۶۹۱	۱۳۲۲/۲
	B1	-۱۰/۲	۶۳۶	۱۱۸۵/۴
بروجن	A1B	-۱۰/۸	۱۴۷	۲۴۳/۳
	A2	-۶/۶	۱۵۳	۲۵۰
	B1	-۱۲/۶	۱۴۳	۲۳۹/۹
لردگان	A1B	۱۹/۵	۳۰۷	۵۶۲/۳
	A2	۱۸/۷	۳۰۶	۵۷۳
	B1	۱۴/۹	۲۹۶	۵۵۸/۴



شکل ۶. درصد تغییرات تعداد روزهای بارانی استان چهارمحال و بختیاری در کل فصل رشد گندم در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۰ تحت هر سه سناریو A1B، A2 و B1

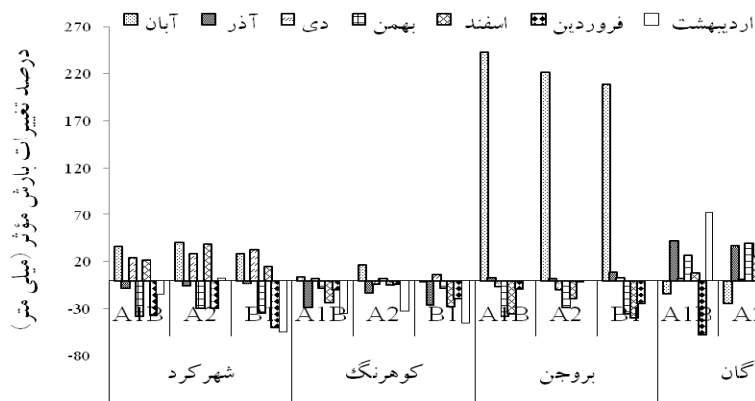
در دوره رشد گندم مواجه خواهد شد. کاهش بارش مؤثر در بیشتر ماه‌ها در ایستگاه‌های کوهرنگ و بروجن نیز از دیگر نتایج حاصله می‌باشد. در ایستگاه کوهرنگ برخلاف کاهش تعداد روزهای بارانی در آبان‌ماه، بارش مؤثر افزایش می‌یابد که احتمالاً به دلیل افزایش بارش‌های سنگین در این ماه می‌باشد. شکل (۷) نیز درصد این تغییرات را به تصویر کشیده است. براساس جدول و نمودار ارائه شده شهرکرد در آبان‌ماه دارای بیشترین درصد افزایش بارش مؤثر می‌باشد. سناریوهای A1B،

۲/۲، ۷/۸ و ۳/۶ درصد کاهش و ایستگاه لردگان ۲/۷ درصد افزایش خواهد داشت.

جدول (۵) نیز میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد گندم و تغییرات آن را طی دهه‌های آتی در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد. مطابق این جدول، بارش مؤثر در ایستگاه شهرکرد در ماه‌های آبان، دی و اسفند افزایش و در ماه‌های آذر، بهمن، فروردین و اردیبهشت کاهش خواهد یافت. ایستگاه لردگان به‌غیر از آبان و فروردین با افزایش بارش مؤثر

جدول ۵. بارش مؤثر استان چهارمحال و بختیاری در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1

ایستگاه	سناریو	بارش مؤثر (میلی متر)						
		آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
شهرکرد	پایه	۸/۹	۲۶/۳	۱۹/۸	۲۳/۰	۱۹/۵	۲۰/۵	۳/۵
	A1B	۱۲/۱	۲۴/۱	۲۴/۶	۱۴/۳	۲۳/۷	۱۲/۹	۳/۰
	A2	۱۲/۵	۲۴/۷	۲۵/۴	۱۶/۳	۲۷/۲	۱۴/۵	۳/۶
	B1	۱۱/۴	۲۵/۴	۲۶/۲	۱۵/۱	۲۲/۵	۱۰/۲	۱/۶
کوهرنگ	پایه	۸۵/۱	۱۵۰/۰	۱۳۷/۰	۱۶۴/۲	۱۵۷/۱	۱۳۵/۹	۵۴/۹
	A1B	۸۸/۷	۱۰۷/۳	۱۳۹/۹	۱۴۹/۷	۱۲۰/۴	۱۲۲/۰	۳۵/۶
	A2	۹۹/۱	۱۲۹/۵	۱۳۰/۳	۱۶۷/۵	۱۴۹/۳	۱۲۹/۸	۳۷/۱
	B1	۸۵/۰	۱۱۱/۳	۱۴۵/۷	۱۴۹/۸	۱۱۳/۸	۱۰۹/۶	۲۹/۸
بروجن	پایه	۲/۴	۱۹/۶	۱۲/۵	۱۵/۲	۱۴/۶	۱۴/۲	۰/۰
	A1B	۸/۳	۲۰/۲	۱۱/۷	۹/۵	۹/۴	۱۲/۸	۰/۰
	A2	۷/۷	۲۰/۰	۱۱/۲	۱۰/۸	۱۱/۸	۱۴/۰	۰/۰
	B1	۷/۴	۲۱/۳	۱۲/۹	۹/۸	۸/۸	۱۰/۷	۰/۰
لردگان	پایه	۱۷/۳	۶۱/۲	۶۹/۶	۵۶/۷	۳۲/۶	۳۹/۰	۱/۸
	A1B	۱۴/۸	۸۷/۲	۷۰/۹	۷۱/۷	۳۵/۲	۱۶/۵	۳/۱
	A2	۱۳/۱	۸۴/۱	۷۰/۶	۷۹/۳	۴۰/۸	۱۷/۲	۳/۲
	B1	۱۳/۰	۹۱/۳	۷۵/۴	۷۲/۶	۳۲/۱	۱۳/۱	۱/۳

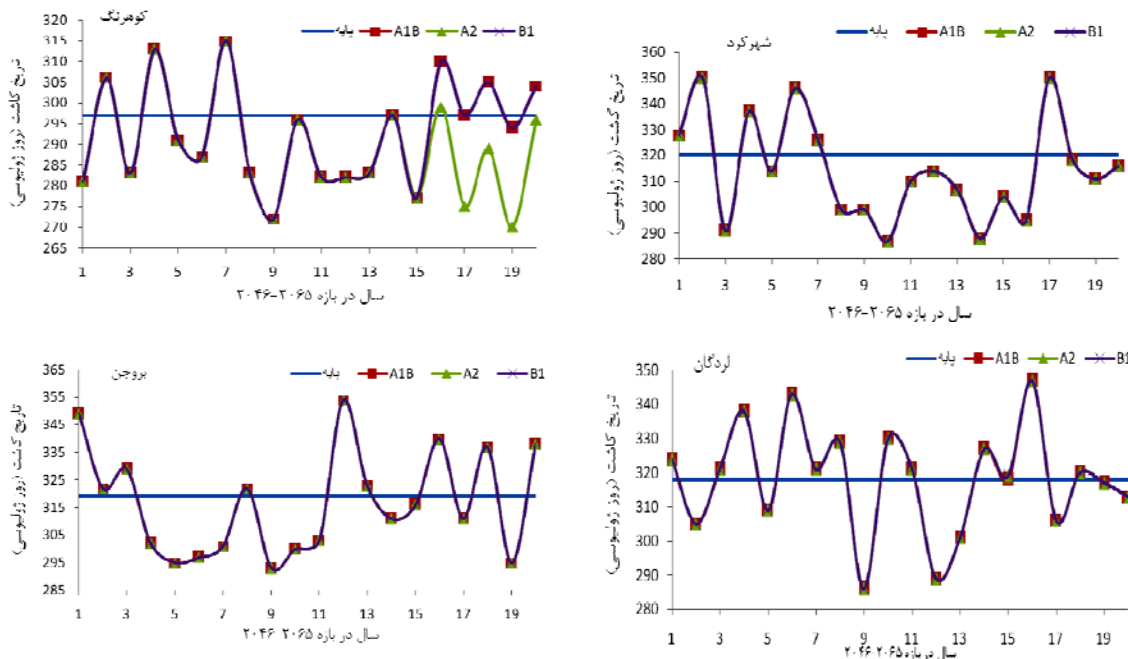


شکل ۷. درصد تغییرات بارش مؤثر استان چهارمحال و بختیاری در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱

تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1

در اردیبهشت ماه دیده می شود. در ایستگاه کوهرنگ، سناریوها اغلب در جهت کاهش بارش مؤثر پیش بینی می کنند. متوسط درصد کاهش در ماه های اردیبهشت و آذر (به ترتیب ۳۷/۸ و ۲۲/۶ درصد) محسوس تر است. ۱۶/۴ درصد افزایش که توسط سناریوی A2 گزارش شده است، بالاترین درصد افزایش در این

A2 و B1 به ترتیب ۳۶/۳، ۴۲/۲ و ۲۸/۲ درصد افزایش را نشان می دهند. افزایش ۲۸ درصدی در دی ماه به طور متوسط تحت هر سه سناریو نیز قابل استنباط است. سناریوی A2 نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش بیشتری را نشان می دهد (۳۹ درصد). بیشترین درصد کاهش معادل ۵۴/۸ درصد توسط همین سناریو



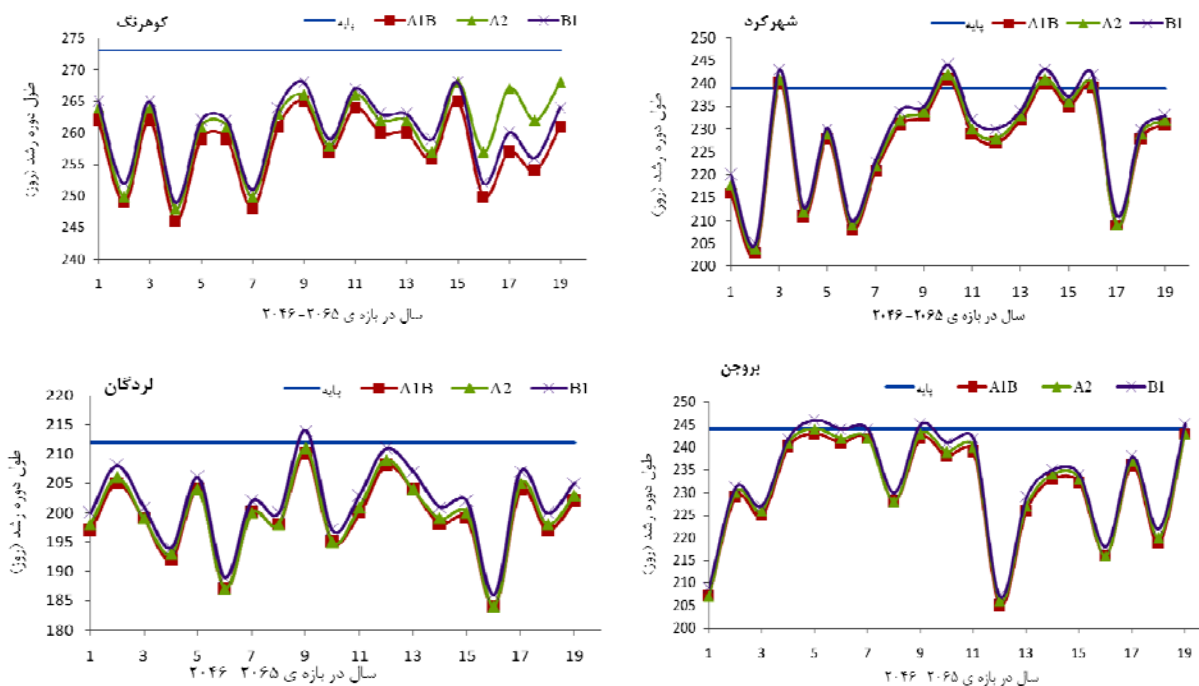
شکل ۸. مقایسه میانگین بلند مدت تاریخ کاشت گندم دیم در دوره پایه و آبی براساس سه سناریوی A1B، A2 و B1

تاریخ کاشت در دوره پایه آغاز می شود اما برای ایستگاه لردگان تقریباً عکس آن، صادق است چراکه افزایش بارش در سه ایستگاه اول، اغلب در ابتدای فصل پاییز رخ خواهد داد در حالی که در ایستگاه لردگان در انتهای این فصل شاهد افزایش بیشتری خواهیم بود. با توجه به وابستگی شدید زراعت دیم به بارندگی، تغییر تاریخ کاشت می تواند منجر به بهره‌مندی گیاه از نزولات جوی شده و از تنش خشکی جلوگیری نماید. چرا که احتمالاً میزان و زمان بارش‌ها در دوره آبی تغییر خواهد کرد. آگاهی از نحوه این تغییرات، گامی مؤثر در جهت سازگاری با این پدیده می باشد. بنابراین اعمال تاریخ‌های کاشت به دست آمده در ایستگاه‌های مذکور، می تواند راهکاری مؤثر در این زمینه باشد. در بررسی‌های متعددی به این مهم اشاره شده است. به عنوان مثال محمدی و همکاران در بررسی تغییر تاریخ کاشت گندم دیم تحت تأثیر تغییر اقلیم در افق سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۹ در ایستگاه سرارود کرمانشاه بیان کردند که دوره زمانی مناسب برای کاشت، بین ۹ تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت (۲۰). مرادی و همکاران کاشت زود هنگام ذرت را در شرایط

ایستگاه می باشد. در ایستگاه بروجن، مقدار بارش مؤثر در آبان ماه به بیش از سه برابر مقدار خود در دوره پایه می‌رسد. ماه‌های اسفند و بهمن نیز دارای بالاترین درصد کاهش می‌باشند. در ایستگاه لردگان فروردین ماه با کاهش متوسط ۶۰ درصدی بارش مواجه خواهد شد. کاهش بارش آبان ماه نیز در این ایستگاه قابل ملاحظه است. در اردیبهشت ماه دو سناریوی A1B و A2 به‌طور متوسط افزایش ۷۲ درصدی را بیان می‌کنند در حالی که سناریوی B1 حاکی از کاهش ۲۶/۷ درصدی آن می‌باشد.

#### تغییرات تاریخ کاشت گندم دیم در دوره آبی

شکل (۸) نوسانات تاریخ کاشت گندم دیم هر چهار ایستگاه مورد مطالعه را براساس بارش مؤثر در دوره آبی نشان می‌دهد. به‌جز نتایج سناریوی A2 در ۵ سال از بازه ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در ایستگاه کوه‌رنگ، سایر سناریوها از تطابق زیادی برخوردار می‌باشند. براساس این شکل، تاریخ کاشت احتمالی در دوره آبی در ایستگاه‌های شهرکرد، کوه‌رنگ و بروجن اغلب زودتر از



شکل ۹. مقایسه میانگین بلند مدت طول دوره رشد گندم در پایه و آبی براساس سه سناریوی A1B، A2 و B1

ایستگاه استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود طول دوره رشد در دوره آبی نسبت به دوره پایه کوتاه‌تر خواهد بود. زیرا هر گیاه برای گذراندن مراحل رشد خود به واحدهای حرارتی معینی نیاز دارد مسلماً با افزایش درجه حرارت هوا در دوره‌های اقلیمی آبی، این واحدهای حرارتی، سریع‌تر و در بازه زمانی کمتر تأمین و در نتیجه طول دوره رشد کوتاه‌تر می‌شود. همچنین با جابه‌جایی تاریخ کاشت به سمت زمستان، طول دوره رشد کوتاه‌تر می‌شود. زیرا بخش بیشتری از مراحل پایانی دوره رشد در فصل بهار قرار می‌گیرد، در نتیجه گیاه دمای بیشتری نسبت به فصل پاییز دریافت می‌کند و دوره رشد کاهش می‌یابد. در ایستگاه شهرکرد در سال‌هایی که تاریخ کاشت با تأخیر بیشتری نسبت به دوره پایه انجام می‌شود، طول دوره رشد کوتاه‌تر خواهد بود.

میانگین بلندمدت طول دوره رشد دوره پایه در ایستگاه‌های شهرکرد، کوهرنگ، بروجن و لردگان به ترتیب ۲۳۹، ۲۷۳، ۲۴۴ و ۲۱۲ روز و در دوره آبی به‌طور متوسط تحت سه سناریو به ترتیب برابر با ۲۲۷، ۲۶۰، ۲۳۲ و ۲۰۰ روز می‌باشد که در

آب و هوایی مشهد در سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ پیشنهاد کردند (۲۱). سلیمانی نادگانی و همکاران هم افزایش ۹ تا ۲۷ روزه تاریخ کاشت گندم زمستانه را در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۱ در منطقه بهشهر گزارش کردند (۱۳). لشکری و همکاران نیز تغییر تاریخ کاشت را برای جلوگیری از کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای طی ۱۰۰ سال آینده در استان خراسان بیان کردند (۱۳). کاسی و همکاران نیز تغییر تاریخ کاشت در دهه ۲۰۵۰ را در دره مرکزی ریفت در اتیوپی گزینه مناسبی برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم دانستند (۲۸). به‌طور مشابه بائو و همکاران برای تولید سویا در جنوب شرقی آمریکا در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰، سرواستاوا و همکاران برای محصول سیب‌زمینی شیرین در منطقه ساوانا واقع در غرب آفریقا در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۱ و لوم و همکاران در مناطق شمال و مرکزی تانزانیا برای کاشت گندم دیم در سال‌های ۲۰۷۱-۲۱۰۰ این راهکار مدیریتی را ارائه کردند (۲۵، ۲۹ و ۳۵).

#### تغییرات طول دوره رشد گندم دیم

(شکل ۹) تغییرات طول دوره رشد گندم دیم را در چهار

جدول ۶. تعداد سال‌ها با احتمال وقوع (بیشتر از ۵۰ درصد) دمای نامناسب در مراحل مختلف رشد گندم دیم

مرحله رشد	گل‌دهی				جوانه‌زنی				سناریو	ایستگاه
	پر شدن دانه									
	B۱	A۲	A۱B	B۱	A۲	A۱B	B۱	A۲	A۱B	
شهرکرد	۱۹	۱۸	۱۹	۱۱	۱۱	۱۱	۷	۶	۸	
کوه‌رنگ	۱۳	۱۱	۱۱	۹	۵	۸	۱۱	۱۰	۱۱	
بروجن	۱۹	۱۹	۱۹	۱۲	۱۱	۱۲	۸	۸	۸	
لردگان	۱۷	۱۶	۱۶	۸	۷	۶	۱۲	۱۱	۱۱	

وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها خواهند داشت. به‌نحوی که مطابق سناریوی A۲ تنها ۶ سال از بازه مورد بررسی در شهرکرد از دمای نامناسب در دوره جوانه‌زنی گندم برخوردار خواهند بود. در دوره گل‌دهی شرایط ایستگاه‌ها بالعکس می‌باشد. بدین ترتیب که بروجن و شهرکرد در سال‌های بیشتری دارای دمای حداکثر بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد هستند ولی در دو ایستگاه کوه‌رنگ و لردگان این احتمال کمتر خواهد بود. کمترین و بیشترین سال‌هایی که در این مرحله از رشد دمای نامناسب دارند به ترتیب در ایستگاه‌های کوه‌رنگ و بروجن به تعداد ۵ سال (براساس سناریوی A۲) و ۱۲ سال (براساس دو سناریوی A۱B و B۱) می‌باشد. دو ایستگاه بروجن تحت هر سه سناریو و شهرکرد تحت دو سناریوی A۱B و B۱ در زمان پر شدن دانه در ۱۲ سال از بازه مورد بررسی با دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد روبه‌رو خواهند شد. براساس سناریوهای A۱B و A۲ در ایستگاه کوه‌رنگ انتظار می‌رود که ۱۱ سال از بازه مورد مطالعه، دمای نامناسب در مرحله پر شدن دانه را تجربه کند. در واقع، این مقدار، کمترین تعداد سال با دمای نامناسب در این بازه را نشان می‌دهد به‌طور کلی دمای زیاد سبب افزایش تبخیر تعرق گیاه و تنش آبی می‌گردد که نتیجتاً سبب چروکیدگی شدن دانه‌ها شده و کاهش وزن هزار دانه و نهایتاً عملکرد در واحد سطح می‌گردد. به‌عبارت دیگر اگر گندم در این دوره با تنش گرمایی مواجه شود معمولاً دانه‌های کوچک تولید می‌کند، البته تعداد دانه تحت تأثیر تنش گرمایی در این دوره قرار نمی‌گیرد چون دانه‌ها در طی مرحله قبل تشکیل شده‌اند و در این مرحله فقط پر می‌شوند (۲۶). سامر و همکاران نیز ضمن

واقع ۱۲ روز در ایستگاه‌های شهرکرد، بروجن و لردگان و ۱۳ روز در ایستگاه کوه‌رنگ کاهش خواهد داشت. البته فاکتورهای زیادی به غیر از دما در تکمیل رشد فیزیولوژیکی گیاه تأثیرگذار هستند. قطعاً ارقام مختلف گندم در رشد و رسیدگی متفاوت خواهند بود. نتایج این تحقیق با مطالعات کوچکی و کمالی مبنی بر کوتاه شدن طول دوره رشد گندم دیم در کشور (استان‌های کردستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه، ایلام، لرستان، کرمانشاه، همدان، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی) تحت تأثیر تغییر اقلیم مطابقت دارد (۱۸). حجارپور و همکاران (۶) در مورد محصول نخود در کرمانشاه، سلیمانی ننادگانی و همکاران (۱۳) در مورد گندم در بهشهر، سادی و همکاران (۳۲) برای گندم زمستانه و گوجه‌فرنگی در مدیترانه و بائو و همکاران (۲۵) در رابطه با سویا در جنوب شرقی آمریکا کوتاه شدن طول دوره رشد را به دلیل افزایش درجه حرارت در آینده گزارش کردند.

#### احتمال وقوع دمای نامناسب در مراحل مختلف فیزیولوژیکی گندم

جدول (۶) تعداد سال‌ها با احتمال وقوع دمای نامناسب بیشتر از ۵۰ درصد را در مراحل مختلف رشد گندم نشان می‌دهد. براساس جدول، بیش از نیمی از دهه مورد مطالعه در ایستگاه کوه‌رنگ و لردگان از دمای نامناسب برای مرحله جوانه‌زنی برخوردار خواهند بود. براساس سناریوی B۱ بیشترین سال‌ها (۱۲ سال) با احتمال وقوع دمای نامناسب در دوره جوانه‌زنی در ایستگاه لردگان مشاهده می‌شود. ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن

اول و تاریخ کاشت دیرتر از دوره پایه برای ایستگاه لردگان می شود. تغییر تاریخ کاشت در دهه های آتی و انتخاب آن براساس بارش مؤثر می تواند راهکار مناسبی برای سازگاری با پدیده تغییر اقلیم محسوب گردد. چرا که بهره مندی گیاه از نزولات جوی را ممکن می سازد. همچنین نتایج، کاهش طول دوره رشد را در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه نشان می دهد. افزایش دما و تأمین درجه حرارت مورد نیاز گیاه در بازه زمانی کوتاه تر دلیل این امر می باشد. دما یکی از عوامل تعیین کننده در گیاهان زراعی است. نتایج بررسی احتمال وقوع دمای نامناسب در سه مرحله حساس رشد گندم یعنی جوانه زنی، گل دهی و پر شدن دانه نشان می دهد که بیش از نیمی از سال های دهه ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در ایستگاه کوه رنگ و لردگان از دمای نامناسب برای مرحله جوانه زنی برخوردار خواهند بود. ایستگاه های شهرکرد و بروجن در دوره گل دهی و پر شدن دانه وضعیت نامطلوبی خواهند داشت.

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر محصول گندم در مرکز آسیا بیان کردند تغییر اقلیم می تواند منجر به افزایش درجه حرارت در طول دوره گل دهی و در نتیجه افزایش خطر عقیمی گل و کاهش در عملکرد دانه شود (۳۴). همچنین آبابائی و همکاران هم تأثیر منفی افزایش دما در کاهش عملکرد محصول گندم در منطقه روددشت اصفهان را بیشتر از تأثیر مثبت شاخص مجموع بارش دانستند (۱).

### نتیجه گیری

پژوهش حاضر به بررسی تأثیرات احتمالی پدیده تغییر اقلیم بر بارش مؤثر، تاریخ کاشت و طول دوره رشد گندم در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته است. نتایج حاکی از افزایش میزان بارش مؤثر در آبان ماه در سه ایستگاه شهرکرد، کوه رنگ و بروجن و کاهش آن در ایستگاه لردگان می باشد. همین امر منجر به انتخاب تاریخ کاشت زودتر از دوره پایه در سه ایستگاه

### منابع مورد استفاده

۱. آبابائی، ب. ت. سهرابی، ف. میرزایی، و. ر. وردی نژاد و ب. کریمی. ۱۳۸۹. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان). مجله دانش آب و خاک ۲۰: ۱۵۰-۱۳۵.
۲. الله کرم تاجدی، س. و پ. الله کرم تاجدی. ۱۳۹۳. پهنه بندی تاریخ های مناسب کشت گندم در استان چهارمحال و بختیاری، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، شرکت علم و صنعت طلوع فرزین. ۵ تیر ۱۳۹۳.
۳. باباییان، ا. و ز. نجفی نیک. ۱۳۸۹. تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای ۱۵: ۱۹-۲.
۴. باباییان، ا. ز. نجفی نیک، ف. زابل عباسی، م. حبیبی نوخندان، ح. ادب، و ش. ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. مجله جغرافیا و توسعه ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.
۵. باباییان، ا. ز. نجفی نیک، م. حبیبی نوخندان، ف. زابل عباسی، ح. ادب و ش. ملبوسی. ۱۳۸۶. مدل سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. تهران. ۲۴ بهمن ۷۲-۶۲.
۶. حجارپور، ا. ا. سلطانی، ا. زینلی و ف. سیدی. ۱۳۹۲. شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شرایط دیم و آبی کرمانشاه. مجله پژوهش های تولید گیاهی ۲۰: ۲۳۵-۲۵۲.



۷. خالقی، ن. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار ۲: ۵۸-۵۱.
۸. دوستی، م.، م. حبیب نژاد روشن، ک. شاهدی و م. ح. میریعقوب زاده. ۱۳۹۲. بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا ۳۹: ۱۸۹-۱۷۷.
۹. رضایی، پ.، ا. سلطانی، ف. اکرم قادری و ا. زینلی. ۱۳۸۷. کمی سازی وقوع تنش‌های دمایی در زراعت گندم (*Triticum aestivum*) در گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵(۴): ۹۷-۱۰۶.
۱۰. ساری صراف، ب.، س. بازگیر و غ. ح. محمدی. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی پتانسیل‌های اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان غربی. جغرافیا و توسعه ۱۳: ۲۶-۵.
۱۱. سازمان هواشناسی کشور، نشست دبیرخانه دی ماه سال ۱۳۹۳. خلاصه گزارش ارزیابی پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم و برنامه‌های آتی IPCC.
۱۲. سایت اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری <http://www.chaharmahalmet.ir>
۱۳. سلیمانی ننادگانی، م.، م. پارس نژاد، ش. عراقی نژاد و ع. ل. مساح بوانی. ۱۳۹۱. بررسی رخدادهای تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه (مطالعه موردی: بهشهر). مجله پژوهش آب ایران ۶(۱۰): ۲۰-۱۱.
۱۴. طلیعی، ع. ا. و ن. بهرامی. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر بارندگی و درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم در استان کرمانشاه. مجله علوم خاک و آب ۱۷(۱): ۱۱۳-۱۰۶.
۱۵. عباسی، ف.، ش. ملبوسی، ا. بابائیان، م. اثمیری، و. ر. برهانی. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل ECHO-G. مجله آب و خاک ۲۴: ۳-۲۱۸.
۱۶. علیزاده، ا.، ن. صالح‌نیا، ن. سیاری، م. نصیری فیلاورگانی و ک. داوری. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تغییرات احتمالی بارش مؤثر در پهنه‌های اقلیمی ایران برای زراعت گندم (طی دوره ۹۰ ساله آینده). نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۴(۷): ۵۸۴-۵۷۵.
۱۷. کمالی، غ.، پ. ملائی و م. ح. بهیار. ۱۳۸۹. تهیه اطلس گندم دیم استان زنجان با استفاده از داده‌های اقلیمی و GIS. نشریه آب و خاک ۲۴(۵): ۹۰۷-۸۹۴.
۱۸. کوچکی، ع.ر. و کمالی، غ.ع. ۱۳۸۹. تغییر اقلیم و تولید گندم دیم در ایران. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۸: ۵۲۰-۵۰۸.
۱۹. لشکری، ا.، ا. علیزاده و م. بنایان اول. ۱۳۹۰. بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تولید ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران. نشریه آب و خاک ۲۵: ۹۳۹-۹۲۶.
۲۰. محمدی، ا.، ح. یزدان‌پناه و ف. محمدی. ۱۳۹۳. بررسی رخدادهای تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دوروم (دیم) مطالعه موردی: ایستگاه سرارود کرمانشاه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۲: ۲۴۶-۲۳۱.
۲۱. مرادی، ر.، ع. ر. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۹۲. تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت به عنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۲: ۱۱۱-۱۲۰.
۲۲. نادری، ا. ۱۳۹۰. تحلیل فیزیولوژیکی اثر تغییر اقلیم بر تولید در گیاهان زراعی. همایش منطقه‌ای اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر. ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۰.
23. Ashraf Vaghefi, S., S. J. Mousavi, K. C. Abbaspour, R. Srinivasan and J. R. Arnold. 2015. Integration of hydrologic and water allocation models in basin-scale water resources management considering crop pattern and climate change: Karkheh River Basin in Iran. Reg. Environ. Change. 15: 475-484.
24. Bannayan, M. and E. Eyshi Rezaei. 2014. Future production of rainfed wheat in Iran (Khorasan province): climate change scenario analysis. Mitig. Adapt Strat GL. 19: 211-227.
25. Bao, Y., G. Hoogenboom, R. McClendon and P. Urlich. 2015. Soybean production in 2025 and 2050 in the

- southeastern USA based on the SimCLIM and the CSM-CROPGRO-Soybean models. *Clim. Res.* 63: 73-89.
26. Bjorkman, O., M. R. Badger and P. A. Armond. 1980. Response and adaptation of photosynthesis to high temperature. In N.C. Turner and P. J. Kramer (ed.) *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. John Wiley and Sons. New York. . 233-249
27. Chung, U., S. Gbegbelegbe, B. Shiferaw, R. Robertson, J. I. Yun, K. Tesfaye, G. Hoogenboom and K. Sonder. 2014. Modeling the effect of a heat wave on maize production in the USA and its implications on food security in the developing world. *Weather and Climate Extremes* 5: 67-77.
28. Kassie, B. T., S. Asseng, R. P. Rotter, H. Hengsdijk, A. C. Ruane and M. K. Van Ittersum. 2015. Exploring climate change impacts and adaptation options for maize production in the Central Rift Valley of Ethiopia using different climate change scenarios and crop models. *Climatic Change* 129: 145-158.
29. Lhomme, J. P., R. Mougou and M. Mansour. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Climatic Change* 96(4): 549-564.
30. Nicholls, N. and B. Murray. 1999. Workshop on Indices and Indicators for Climate Eextremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June, Breakout Group B: Precipitation. *Climate Change* 42: 23-29
31. Ortiz, R., K. D. Sayre, B. Govaerts, R. Gupta, G. V. Subbarao, T. Ban, D. Hodson, J.M. Dixon, J. I. Ortiz-Monasterio and M. Reynolds. 2008. Climate change: Can wheat beat the heat?. *Agric. Ecosyst Environ.* 126(1): 46-58.
32. Saadi, S., M. Todorovic, L. Tanasijevic, L. S. Pereira, C. Pizzigalli and P. Lionello. 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agric. Water Manage.* 147: 103-115.
33. Semenov, M. A. and P. Stratonovitch. 2010 Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Clim. Res.* 41: 1-14.
34. Sommer, R., M. Glazirina, T. Yuldashev, A. Otarov, M. Ibraeva, L. Martynova, M. Bekenov, B. Kholov, N. Ibragimov, R. Kobilov, S. Karaeve, M. Sultonove, F. Khasanovaf, M. Esanbekovf, D. Mavlyanovf, S. Isaevf, S. Abdurahimovf, R. Ikramovg, L. Shezdyukovag and E. de Pauw. 2013. Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia. *Agric. Ecosyst Environ.* 178: 78-99.
35. Srivastava, A. K., T. Gaiser and F. Ewert. 2015. Climate change impact and potential adaptation strategies under alternate climate scenarios for yam production in the sub-humid savannah zone of West Africa. *Mitig Adapt Strat GL.* 1-14.
36. Wilby, R. L. and S. Dessai. 2010. Robust adaptation to climate change. *Weather* 65(7): 180-185.

## Climate Change Impact on Some Factors Affecting Rainfed Wheat Growth (Case Study: Chaharmahal and Bakhtiari Province)

N. Delavar<sup>1</sup>, S. Akhavan<sup>1\*</sup> and A. Mehnatkesh<sup>2</sup>

(Received: April 15-2016 ; Accepted: Sept. 19-2016)

### Abstract

The aim of this study was to investigate the climate change impacts on some factors affecting rainfed wheat growth such as effective rainfall, planting date and length of growing season in four stations located in Chaharmahal and Bakhtiari province. Firstly, it is necessary to predict future (2046-2065) climatic conditions. For this purpose, the output of HADCM3 general circulation model was used under three scenarios of A1B, A2 and B1. The data were downscaled by LARS-WG model. After simulating the climatic parameters in mention period, the effective rainfall during the wheat growing season was calculated by Food and Agriculture Organization method. Also, the optimum planting date was defined according to the date of the first rain (at least 10 mm in case of continuing for next days). The wheat's growth stages were determined by Growing Degree Days method. The results indicated a rise in temperature for four stations. On average, it is expected that the annual temperature increase by 1.8°C compared with the baseline period (2010-1990). Total annual precipitation in Shahrekord, Koohrang and Borujen will decrease 2.2, 7.8 and 3.6 per cent respectively. About Lordegan it will increase by 2.7 per cent. Also, the results showed that in three stations of Shahrekord, Koohrang and Borujen, the amount of effective rainfall in November will increase compared to baseline, but in Lordegan it will reduce. So, in the first three stations, in most years, planting date was obtained earlier than baseline, but in Lordegan it was later than baseline. The Length of growing season will reduce in Shahrekord, Borujen and Lordegan stations, 12 days on average and in Koohrang about 13 days.

**Keywords:** Climate change, Rainfed wheat, Effective rainfall, Climate scenarios, Growing Degree Days, Downscaling.

---

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric. Eng., Bu-Ali Sina Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran.

2. Dept. of Soil and Water, Chaharmahal and Bakhtiari Province Agric. and Natural Resour. Res. and Education Center, Shahrekord, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: akhavan\_samira@yahoo.com