

# واکاوی تاثیر تاریخ کشت بر تغییرات بارش، نیاز حرارتی، تبخیر و تعرق و طول دوره‌های فنولوژیکی گندم دیم با تکیه بر مدل‌های CMIP6 تحت سناریوهای SSP (مطالعه موردی: استان همدان)

الهام جودکی<sup>۱</sup>، حسین مشکواتی<sup>۲\*</sup>، غلامعلی کمالی<sup>۲</sup>، حسین رضایی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب- هواشناسی کشاورزی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۲- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۳- دانشیار، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

۴- استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران.

## چکیده

گیاه گندم یکی از محصولات استراتژیک کشور ایران و به خصوص استان همدان است که نقش مهمی در امنیت غذایی ایفا می‌کند. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، تغییرات عملکرد این محصول عمدتاً تحت تاثیر متغیرهای اقلیمی است. بنابراین پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر خصوصیات اقلیمی کشاورزی این محصول تاثیرگذار باشد. در این مطالعه تلاش شد تاثیر تغییر تاریخ کشت بر خصوصیات اقلیمی از جمله بارش، نیاز حرارتی، تبخیر و تعرق و طول دوره‌های فنولوژیکی گندم دیم در استان همدان با استفاده از مدل‌های CMIP6 تحت سناریوی SSP، و مدل زراعی AquaCrop در دوره پایه و آینده مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی نتایج نشان می‌دهد آماره‌های مربوط به بارش، بیشینه دما و سرعت باد مدل BCC-ESM2-MR، متغیر کمینه دما مدل MRI-ESM2-0، رطوبت نسبی مدل Can-ESM5 بیشترین دقت و کمترین خطا را در مقیاس‌گاهی و مدلسازی داشته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مقدار بارش در دوره آینده تحت همه سناریوها در همه ایستگاه‌ها کاهش خواهد بود ولی سایر متغیرها روندی افزایشی خواهند داشت که بیشترین آن متعلق به سناریوی SSP5-8.5 می‌باشد. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد مقدار بارش، تبخیر و تعرق، نیاز حرارتی و طول دوره فنولوژیکی با تغییر تاریخ کشت شاهد افزایش یا کاهش خواهد بود. همچنین بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی و اقلیمی کشاورزی با لحاظ نمودن مراحل فنولوژیکی می‌تواند متفاوت از زمانی باشد که در کل دوره رشد مورد بررسی قرار گرفته باشد. این نتایج بیانگر این واقعیت هستند که تغییر تاریخ کشت می‌تواند به عنوان راهکار سازگاری با تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود.

کلید واژه‌ها: تاریخ کشت، گندم، بارش، نیاز حرارتی، تبخیر و تعرق.

## مقدمه

روند تغییرات اقلیمی به عنوان چالش بزرگ در قرن بیست و یکم مطرح شده است که اثرات بسیار بزرگی بر بخش کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و در نهایت امنیت غذایی دارد. در این بین اهمیت امنیت غذایی برای جمعیت در حال رشد اهمیت بسیاری دارد. در واقع، امنیت غذایی به توانایی دسترسی به غذای ایمن، امکان اقتصادی برای استطاعت آن (تاراسوک و میچل، ۲۰۲۰) و توانایی دستیابی به نیازهای غذایی اشاره دارد (کلمن-جانسن و همکاران، ۲۰۲۱؛ فائو، ۱۹۹۵؛ ژو، ۲۰۱۹). امنیت غذایی شامل پنج بُعد مهم مرتبط است که شامل دسترسی پذیری به غذا، پایداری عرضه، کیفیت و ایمنی غذا، مقبولیت فرهنگی و توانایی دسترسی به غذا می‌شود (فائو، ۱۹۹۵؛ ژو، ۲۰۱۹). تولید غلات یکی از محدود شاخص‌های عرضه مواد غذایی بین‌المللی، قاره‌ای یا منطقه‌ای است (کوگان، ۲۰۱۹). تولید پایدار در مزرعه، زیرساخت‌ها و بهبود فناوری با سیاست‌های عمومی و کاهش هزینه‌های تجاری نیز برای امنیت غذایی مهم هستند. در این بین گندم به عنوان مهمترین محصول دیم در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به خصوص ایران مطرح است (هالالی، ۱۳۹۷). از نظر تاریخی، تولیدکنندگان جهانی محصولات زراعی ذرت، گندم و برنج را به عنوان محصولات اصلی برای سازگاری قابل توجه در مناطق و اقلیم‌های مختلف، پذیرش و مصرف گسترده آن‌ها توسط جمعیت و وضعیت تغذیه آن‌ها انتخاب کرده‌اند (فائو، ۱۹۹۵). این سه محصول در مجموع ۶۰ درصد انرژی مصرفی جهانی غذا را تأمین می‌کنند (فائو، ۱۹۹۵) زیرا بیش از نیمی از جمعیت جهان از آن‌ها به عنوان غذای اصلی خود استفاده می‌کنند (فائو، ۲۰۲۱ا؛ هایل و همکاران، ۲۰۱۷). گندم دومین محصول پرتولید در جهان است (فائو، ۲۰۲۱ب). این محصول عملکرد بالایی داشته و به راحتی با اقلیم‌های مختلف سازگار می‌شود (دسوزا و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به تغییرات اقلیمی به طبع مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم دیم تحت تاثیر قرار می‌گیرند.

بررسی منابع مطالعاتی نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی موجب تغییر در فرآیندهای اقلیمی و اقلیمی کشاورزی خواهد شد (هالالی و همکاران، ۲۰۲۲). به این مفهوم که دوره‌های فنولوژیکی، متغیرهای اقلیمی و عملکرد نیز دچار تغییر خواهند شد. مطالعات صورت گرفته نیز تغییرات متغیرهای

اقلیمی و طول دوره رشد را با توجه به تغییرات اقلیمی اثبات کرده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳ در استان کرمانشاه طول دوره رشد گندم دیم ۲۵ روز کوتاه‌تر؛ ایشی رضایی و بنایان، ۲۰۱۲ در شمال شرق ایران کاهش قابل توجه طول دوره رشد؛ ولیزاده و همکاران، ۲۰۱۴ منطقه سیستان و بلوچستان دوره رشد گندم در همه سناریوهای تغییر اقلیمی در مقایسه با دوره پایه کاهشی؛ مقدم و همکاران، ۲۰۲۳ دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، افزایش حاشیه‌ای عملکرد گندم برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ کاهش طول فصل رشد و عملکرد گندم دیم؛ لو و همکاران، ۲۰۱۳ تغییر طول دوره گلدهی در آینده؛ هی و همکاران، ۲۰۱۴ طول دوره کاشت، تاخیر در ظهور و شروع خواب زمستانه به صورت میانگین به ترتیب ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۲ روز در هر دهه؛ رشید و همکاران، ۲۰۱۹ کوتاه‌تر شدن چرخه رشد و نمو در نتیجه گرمایش جهانی). در این مطالعه تلاش شده است تغییرات متغیرهای اقلیمی و اقلیمی کشاورزی در دوره پایه و دوره آینده با مدل زراعی AquaCrop و مدل‌های CMIP6 تحت سناریوی SSP در محدوده ایستگاه‌های استان همدان مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

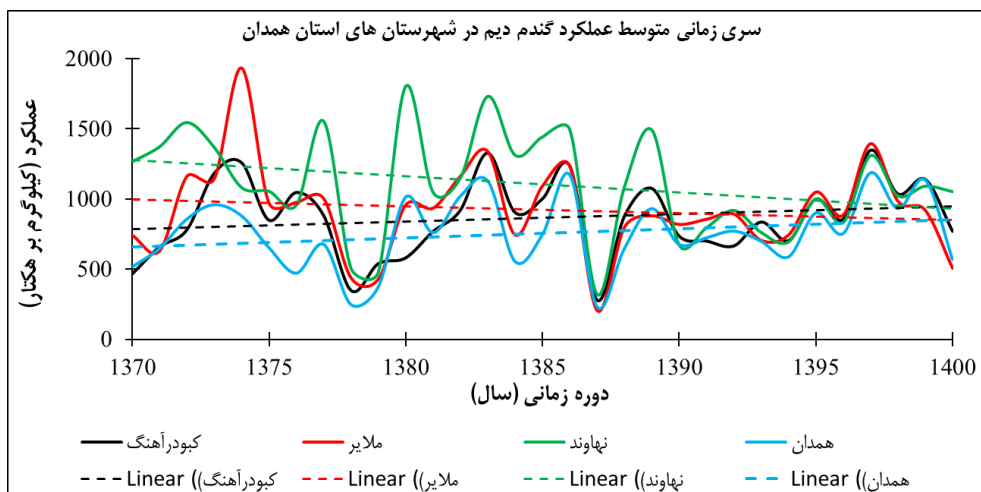
## مواد و روش‌ها

## محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه استان همدان واقع در غرب ایران است که عمدتاً دارای اقلیم نیمه خشک هستند (جدول ۱). این استان به عنوان یکی از استان‌های پیشرو در تولید گندم دیم نیز مطرح است. در شکل ۱ متوسط عملکرد شهرستان‌های استان همدان ارائه شده است به طوری که عملکرد متوسط شهرستان‌های مورد مطالعه دارای نوسان است که عمدتاً به دلیل تغییرات متغیرهای اقلیمی (سبزی‌پرور و همکاران، ۱۳۹۱؛ صادقی و همکاران، ۱۴۰۱) خشکسالی‌ها (مریانجی و همکاران، ۱۳۹۶؛ زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۸۸)، تغییر رقم مورد کشت و اصلاحات مدیریتی (حیدری و اسکندری، ۱۳۹۲؛ حیدری و سلطانی، ۱۳۹۵؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۹) می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان همدان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	نوع اقلیم (دمارتن)
ملایر	۴۸/۸۶	۳۴/۲۵	۱۷۷۶/۵	نیمه خشک
نهادند	۴۸/۴۱	۳۴/۱۴	۱۶۷۷/۸	نیمه خشک
نوژه (کبودرآهنگ)	۴۸/۶۹	۳۵/۲۰	۱۶۷۹/۷	نیمه خشک
همدان	۴۸/۵۳	۳۴/۸۷	۱۷۴۰/۸	نیمه خشک



شکل ۱- میانگین سری زمانی عملکرد گندم در محدوده شهرستان‌های مورد مطالعه استان همدان (منبع: مرکز آمار وزارت کشاورزی)

### پیشننگری با مدل اقلیمی

مدل‌ها در مناطق مختلف و پارامترهای مختلف متفاوت است به همین منظور مدل‌های مختلف مراکز معتبر جهانی با دقت بالا که هر سه سناریوی مورد بررسی را در اختیار داشتند، ارزیابی گردید و بهترین مدل جهت پیش‌نگری استفاده شد. مشخصات مدل‌های مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است. داده‌های روزانه مدل‌های CMIP6 برای دو دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) و آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) از مرکز ESGF (<https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>) دانلود گردید.

در این تحقیق نوسان متغیرهای اقلیمی و اقلیم کشاورزی در مراحل مختلف فنولوژی گندم با استفاده از مدل اقلیمی CMIP6 تحت سناریوی SSP و مدل زراعی AquaCrop مورد بررسی قرار گرفت. دوره پایه مورد استفاده از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ بوده است. آمار لازم برای بررسی تغییرات اقلیمی و مدل‌های CMIP6 از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ به عنوان دوره تاریخی از وب سایت ESGF و داده‌های مشاهداتی ایستگاه هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. در ابتدا عملکرد مدل‌های CMIP6 و مقیاس‌گاهی مورد بررسی قرار گرفت سپس به پیش‌نگری تغییرات پارامترهای مورد بررسی در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوهای واداشت اجتماعی-اقتصادی (SSP) پرداخته شد. در ادامه به شرح روش‌های مورد بررسی در این پژوهش پرداخته می‌شود.

در این پژوهش جهت بررسی از داده‌های روزانه پارامترهای جوی مدل‌های مختلف CMIP6 استفاده شد. چرا که دقت

جدول ۲- مشخصات مدل‌های CMIP6 مورد بررسی در این پژوهش

Row	Model	Atmospheric Resolution	Institution	Country
1	BCC-CSM2-MR	1.125° × 1.121°	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	China
2	CanESM5	2.81° × 2.79°	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada
3	CESM2_WACCM_FV2	1.25° × 1°	National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research	USA
4	GFDL-ESM4	1.3° × 1°	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	
5	MPI-ESM1-2-LR	0.93° × 0.93°	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Germany

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (4)$$

در روابط فوق  $X_o$  داده‌های مشاهده‌ای،  $X_s$  داده‌های شبیه‌سازی شده و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

#### مدل‌سازی با مدل AquaCrop

رشد محصول توسط سایه‌انداز (کانوپی) که رطوبت را از طریق یک سیستم ریشه‌ای عمیق دریافت می‌کند انجام می‌شود. آب تعرق شده معادل زیست‌توده (بیوماس) تولید شده است. در مرحله خاص فنولوژیکی، بخشی از زیست‌توده از طریق مولفه شاخص برداشت (HI) به عملکرد تبدیل می‌شود. در این مدل، مدل‌سازی و شبیه‌سازی عملکرد بر اساس کارایی مصرف آب در خاک انجام می‌شود. نمای محاسباتی توسط مدل AquaCrop در شکل ۲ نشان داده شده است (استدوتو و همکاران، ۲۰۰۹). در طول چرخه محصول مقدار آب ذخیره شده در منطقه ریشه از طریق ورودی‌ها (بارندگی و آبیاری) و خروجی‌ها (رواناب، تبخیر و تعرق و نفوذ عمیق) و در قالب معادله بیلان شبیه‌سازی می‌شود. تخلیه ناحیه ریشه، شدت ضرایب تنش رطوبتی (KS) مؤثر بر توسعه سایه‌انداز (CC)، هدایت روزنه‌ای و از این‌رو تعرق در واحد توسعه سایه‌انداز، خزان و کاهش سایه اندازه و شاخص برداشت را تعیین می‌کنند. هر یک از این تأثیرات دارای آستانه تخلیه و منحنی پاسخ مربوط به خود می‌باشد. علاوه بر این، سرعت عمیق شدن سیستم ریشه تابعی از هدایت روزنه‌ای (KS) نیز می‌باشد. اگر تنش رطوبتی سایه‌انداز شبیه‌سازی شده کمتر از سایه‌انداز پتانسیل (CC<sub>pot</sub>) باشد شرایط نرمال است. ضریب تعرق (KC<sub>tr</sub>) متناسب با

پس از دریافت داده‌ها، مقادیر پارامترهای مشاهداتی و تاریخی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه با تهیه برنامه در محیط MATLAB با استفاده از نزدیکترین یاخته داده‌های GCMs در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۰) استخراج گردید. سپس از روش تصحیح اریبی یا روش مقیاس‌کاهی خطی جهت ریزگردانی داده‌ها استفاده گردید. در ادامه اختلاف بین مقادیر پارامترهای مشاهداتی و تاریخی با استفاده از شاخص‌های مختلف ارزیابی گردید. پس از صحت‌سنجی و ارزیابی دقت مدل‌های مختلف GCM، با استفاده از بهترین مدل تغییرات دمایی و بارشی در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 مختلف پیش‌نگری گردید. برای مقیاس‌کاهی از روش مقیاس‌کاهی خطی استفاده شد (شرستا و همکاران، ۲۰۱۷، ۲۰۲۰). جهت ارزیابی مدل‌های GCM از متغیرهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین مربعات خطا (MSE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت معادلات زیر استفاده شد:

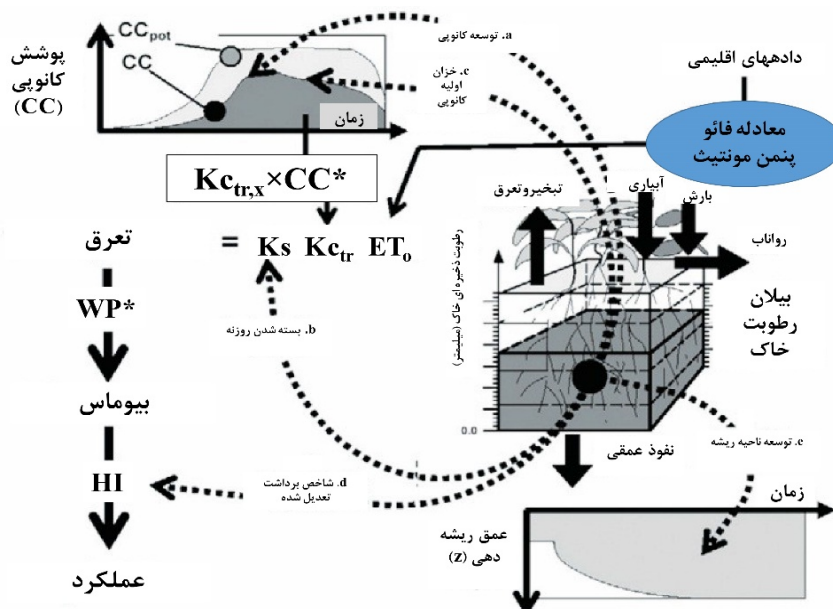
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (3)$$

چرخه رشد محصول، عملکرد به صورت تابعی از زیست‌توده شیبه‌سازی شده و شاخص برداشت تعدیل شده محاسبه می‌گردد.

سایه‌اندازه بوده، و از این‌رو به‌طور مداوم در طی فرآیند شیبه‌سازی تعدیل و اصلاح می‌گردد. زیست‌توده سطح زمین (B) تولید شده از تعرق از طریق بهره‌وری رطوبتی نرمال شده (WP\*) که پارامتری اصلی است به دست می‌آید. در پایان



شکل ۲- نمای محاسبه AquaCrop با فرآیندهای مشخص (خطوط منقطع) تاثیر گرفته به وسیله تنش رطوبتی (a تا e).  $CC^*$  پوشش سایه‌اندازه تعدیل شده برای فرارفت‌های کوچک،  $CC_{pot}$  پوشش سایه‌اندازه پتانسیل، و  $K_s$  ضریب تنش (اختصاصی برای هر یک از فرآیندهای فوق).  $HI$  شاخص برداشت،  $Kc_{tr}$  ضریب تعرق گیاه،  $WP^*$  بهره‌وری رطوبت نرمال شده برای  $ET_0$  و  $CO_2$  تبخیر و تعرق مرجع (استودتو و همکاران، ۲۰۰۹)

(۲۲ مهر)، ۲۲ اکتبر (۲ آبان)، ۲ نوامبر (۱۲ آبان) و ۱۲ نوامبر (۲۲ نوامبر) گردید.

در این مطالعه مراحل فنولوژیکی به ترتیب شامل مراحل جوانه‌زنی، رویشی، زایشی و رسیدگی بودند که بر اساس نیاز حرارتی رقم آذر ۲ در نظر گرفته شده است. در این مطالعه تاثیر تغییر تاریخ کشت بر مقادیر بارش، تبخیر و تعرق، نیاز حرارتی (درجه روز رشد) و طول دوره فنولوژیکی در تک ایستگاه‌ها در دوره پایه و دوره آینده تحت سناریوهای مختلف تجزیه و تحلیل گردید.

## نتایج

ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در شیبه‌سازی متغیرهای اقلیمی با روش مقیاس‌کاهی خطی (LSBC) ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف CMIP6 در شیبه‌سازی متغیرهای بارش، بیشینه دما، کمینه دما، رطوبت نسبی و

تاریخ کشت در این منطقه بر اساس تقویم زراعی از اول مهر شروع و تا ۱۰ آبان (۲۲ سپتامبر تا ۱۲ نوامبر) ادامه می‌یابد. در منطقه مطالعاتی تاریخ تقویمی اول مهر به عنوان تاریخ کشت در نظر گرفته شده است. این مقدار برای دوره پایه و دوره صحت‌سنجی ثابت در نظر گرفته شد. تعدادی از محققین تغییر تاریخ کشت را به عنوان روشی برای مقابله و کاهش اثرات تغییر اقلیم پیشنهاد کرده‌اند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حجازپور و همکاران، ۱۳۹۵؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ رحیمی مقدم و همکاران، ۲۰۱۸؛ مقدم و همکاران، ۲۰۲۳؛ ون و همکاران، ۲۰۲۳)، بنابراین به عنوان یک راهکار سازگاری با تغییرات اقلیمی، تغییر تاریخ کشت در سناریوهای آتی در نظر گرفته شد به صورتی که از ۲۲ سپتامبر اولین تاریخ کشت شروع شده و با فواصل ده روزه تاریخ کشت به تاخیر می‌افتد به صورتی که دومین، سومین، چهارمین، پنجمین و ششمین تاریخ کشت مصادف با ۲ اکتبر (۱۰ مهر)، ۱۲ اکتبر

ESM2-0 دقت بهتری داشته و مقادیر RMSE، MSE، MAE و R2 به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۹، ۰/۰۶ و ۰/۹۹ خواهد بود. مقادیر شاخص های RMSE، MSE، MAE و R2 برای متغیر رطوبت نسبی در مدل Can-ESM5 و متغیر سرعت باد مدل BCC\_CSM2\_MR کمترین مقدار بوده است. با توجه به این نتایج ارزیابی مدل‌های CMIP6 در مقیاس کاهی و مدل‌سازی دقت قابل قبول دارد.

سرعت باد در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی این نتایج نشان می‌دهد آماره‌های مربوط به بارش در مدل BCC-ESM2-MR بهتر از سایر مدل‌ها می‌باشد به طوری که مقادیر RMSE، MSE، MAE و R2 به ترتیب ۱۸/۶، ۴/۳، ۳/۸ میلی‌متر و ۰/۹۸ می‌باشد. در مورد متغیر بیشینه دما نیز این مدل بهتر عمل کرده است طوری که مقادیر RMSE، MSE، MAE و R2 به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۹، ۰/۰۸ درجه سلسیوس و ۰/۹۹ می‌باشد. در مورد متغیر کمینه دما مدل MRI-

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 بر اساس مقیاس کاهی LSBC در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی

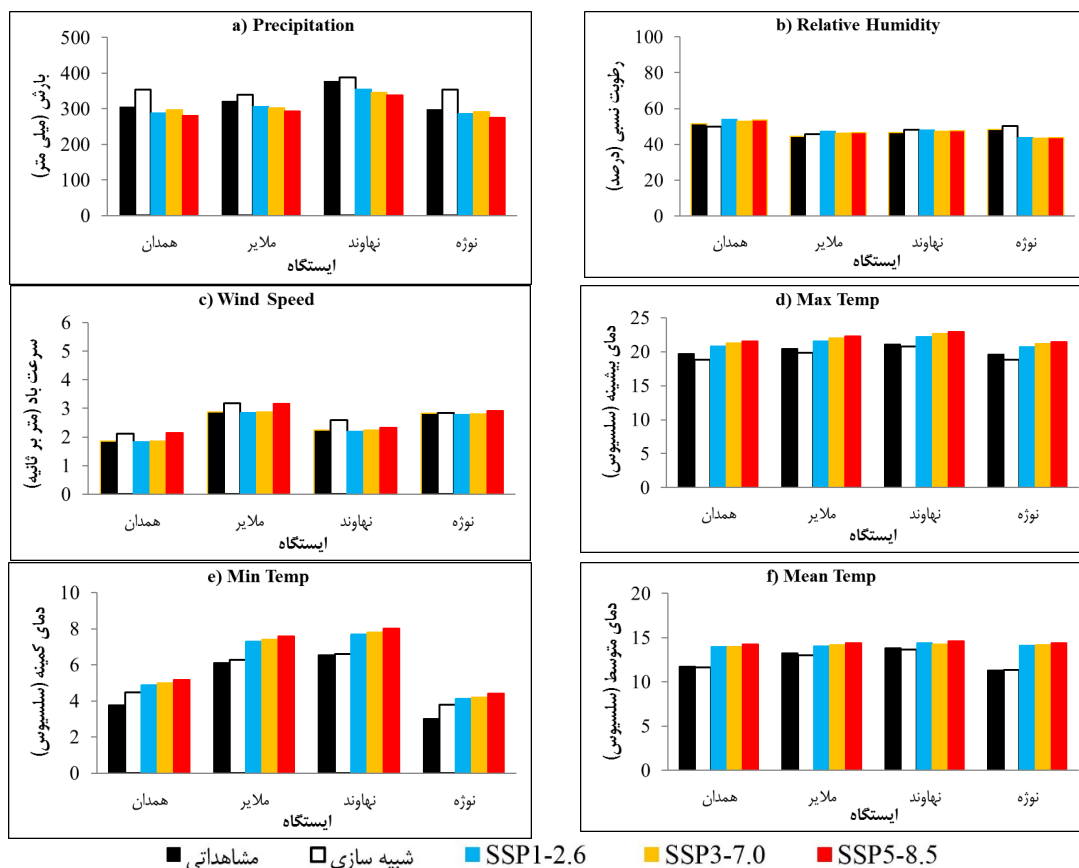
R <sup>2</sup>	MAE	RMSE	MSE	مدل	ردیف	
۰/۹۸	۳/۸	۴/۳	۱۸/۶	BCC-CSM2-MR	۱	بارش
۰/۹۶	۷/۵	۹/۲	۸۵/۴	CanESM5	۲	
۰/۹۵	۸/۱	۹/۹	۹۸/۹	CESM2_WACCM_FV2	۳	
۰/۹۲	۷/۸	۱۲	۱۴۳/۷	GFDL-ESM4	۴	
۰/۹۷	۶/۷	۸/۱	۶۴/۸	MPI-ESM1-2-LR	۵	
۰/۹۹	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۱	BCC-CSM2-MR	۱	بیشینه دما
۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/۷۸	CanESM5	۲	
۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۱	CESM2_WACCM_FV2	۳	
۰/۹۹	۰/۵۸	۰/۷۲	۰/۵۱	GFDL-ESM4	۴	
۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	MPI-ESM1-2-LR	۵	
۰/۹۹	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۱۸	BCC_CSM2_MR	۱	کمینه دما
۰/۹۹	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۶۵	CanESM5	۲	
۰/۹۹	۰/۵	۰/۶	۰/۴	CESM2_WACCM_FV2	۳	
۰/۹۹	۰/۶	۰/۸	۰/۶	GFDL-ESM4	۴	
۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۱	MRI-ESM2-0	۵	
۰/۹۱	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۳۵	CanESM5	۱	رطوبت نسبی
۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۰	BCC_CSM2_MR	۱	سرعت باد

نسبی نیز نشان می‌دهد در همه ایستگاه‌ها روند افزایشی در همه سناریوها نسبت به دوره پایه قابل مشاهده است (به جز نوزده). با این حال روند افزایشی یا کاهش رطوبت نسبی در همه سناریوها اختلاف زیادی با یکدیگر ندارند. بررسی تغییرات سرعت باد در آینده تحت سناریوهای مختلف تغییرات افزایشی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد (همه ایستگاه‌ها) ولی بیشترین تغییرات افزایشی متعلق به سناریوی SSP5-8.5 خواهد بود. واکوی نتایج نشان می‌دهد تغییرات متغیرهای دمایی (بیشینه، بهینه و کمینه) در همه ایستگاه‌ها

پیش‌نگری تغییرات اقلیمی در دوره آینده نتایج پیش‌نگری با بهترین مدل در دوره پایه (مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب به رنگ مشکی و سفید) و دوره‌های آینده برای سناریوهای مختلف (سناریوی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب با رنگ‌های آبی، نارنجی و قرمز) در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقدار بارش در دوره آینده تحت همه سناریوها در همه ایستگاه‌ها کاهش خواهد بود به طوری که بیشترین کاهش در سناریوی SSP5-8.5 رخ خواهد داد (شکل ۳a). تغییرات متغیر رطوبت

کاهش و سایر متغیرها افزایشی باشد که در سناریوی SSP5-8.5 شدیدتر از دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP3-7.0 می‌باشد.

افزایشی خواهد بود که در سناریوی SSP5-8.5 تشدید خواهد شد (نسبت به دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP3-7.0). با توجه به این نتایج قابل پیش‌بینی است که در آینده تحت مدل‌های CMIP6 و سناریوهای SSP تغییرات بارش



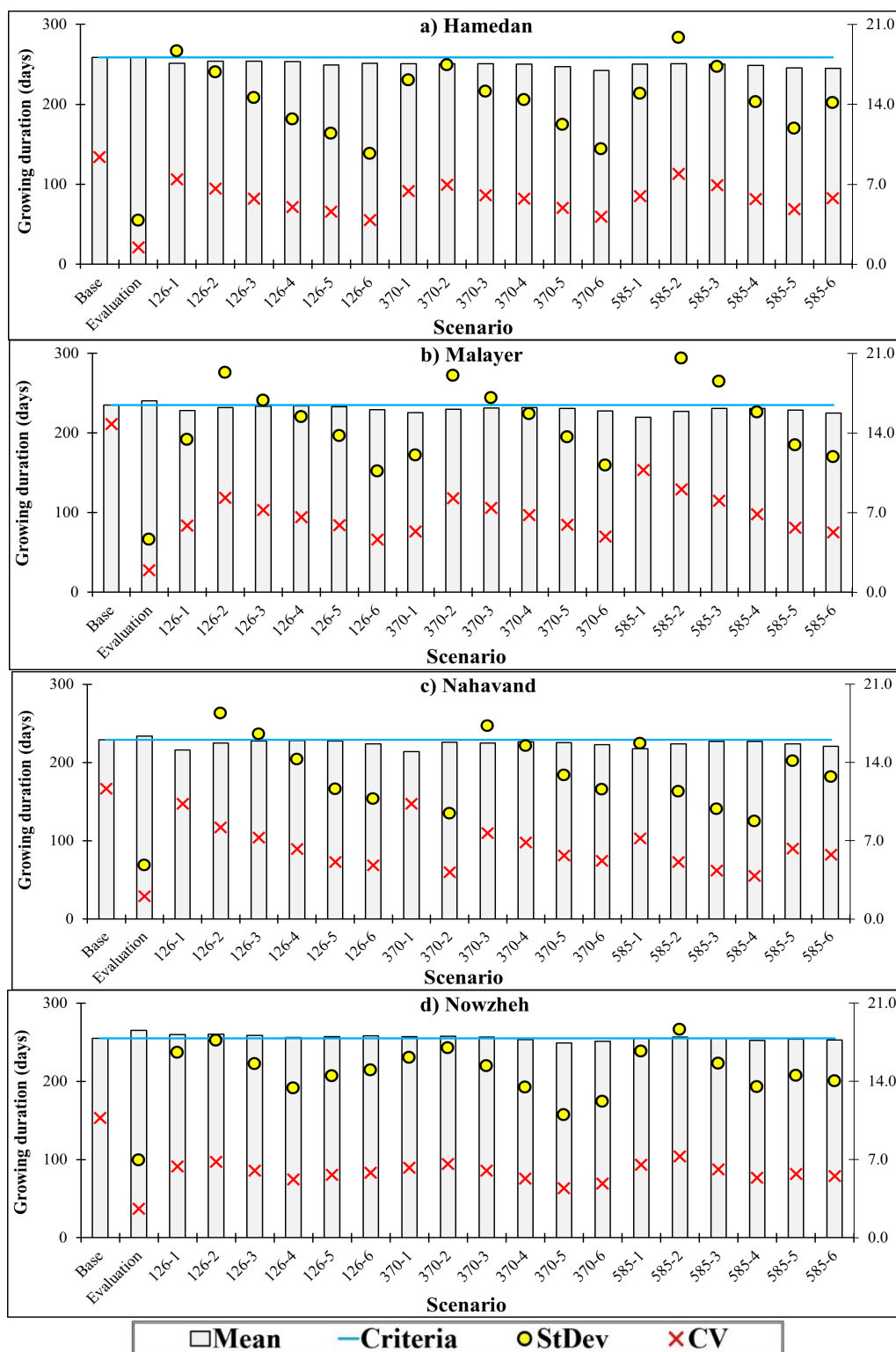
شکل ۳- مقادیر پیش‌نگری شده بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای متوسط در ایستگاه‌های مورد مطالعه

و همکاران، ۲۰۱۴ استان سیستان و بلوچستان؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۳ کرمانشاه؛ هی و همکاران، ۲۰۱۵؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ آبشناس و همکاران، ۲۰۲۲؛ مقدم و همکاران، ۲۰۲۳؛ لونگ و همکاران، ۲۰۲۲ در چین؛ ایشاک و همکاران، ۲۰۲۳ در پاکستان)، در حالی که مطالعه خیراندیش و همکاران (۱۳۹۲) نشان داده است که در سناریوی A2 افزایش طول دوره رشد در ایستگاه‌های مشهد، تهران، اصفهان، رشت، و زاهدان و کاهش طول دوره رشد در ایستگاه‌های تبریز، کرمان، و گرگان کاهش خواهد یافت اما در سناریوی B1 در ایستگاه‌های مشهد، تهران و رشت روندی افزایشی و در ایستگاه‌های کرمان و گرگان روندی کاهش‌ی دیده می‌شود. بررسی مطالعات انجام شده در ایران و سایر

پیش‌نگری طول دوره رشد در دوره پایه و آینده تحلیل نتایج طول دوره رشد در ایستگاه‌های استان همدان در شکل ۴ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان همدان طول دوره رشد در همه سناریوها و تاریخ کشت‌ها نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت (به استثناء ایستگاه نوزه در سناریوهای SSP1-2.6 و SSP3-7.0) و در عین حال با پیشروی به تاریخ‌های دیرکاشت انحراف معیار و ضریب تغییرات طول دوره نیز کاهش خواهد یافت که نشان‌دهنده نوسانات کمتر در سناریوهای آتی است که با مطالعات انجام شده در ایران و جهان تطابق دارد (نصیری و همکاران، ۱۳۸۵؛ بین ۸ تا ۳۶ روز؛ ایشی رضایی و بنایان، ۲۰۱۲ شمال شرق ایران؛ ولیزاده

و همکاران (۲۰۲۰) در نتیجه تغییرات اقلیمی کاهش طول دوره رشد در چین اتفاق افتاده و به همین دلیل عملکرد کاهش خواهد یافت.

مناطق جهان نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی که در نتیجه افزایش دما، کاهش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی است موجب کاهش طول دوره رشد خواهد شد (حسام عارفی و همکاران، ۲۰۱۷؛ دیهیم فرد و همکاران، ۲۰۱۹). به عقیده ژنگ



شکل ۴- مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات طول دوره رشد در دوره‌های پایه، ارزیابی و آینده در استان همدان

## تغییر متغیرهای اقلیمی و کشاورزی - کشاورزی در مراحل فنولوژیکی

### بارش

تغییرات بارش در مراحل مختلف فنولوژیکی در ایستگاه‌های استان همدان در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج مقادیر بارش در مرحله فنولوژیکی جوانه‌زنی در اکثر سناریوها و تاریخ کشت‌ها نسبت به دوره پایه افزایش داشته است که در کشت‌های دیر هنگام این اختلاف بیشتر می‌گردد که مقدار این اختلاف در تاریخ کشت‌های ۲ و ۱۲ نوامبر به بیشترین مقدار خواهد رسید. در مرحله فنولوژیکی رویشی در تاریخ کشت‌های ۲۲ سپتامبر و ۲ اکتبر در همه ایستگاه‌ها و سناریوها مقدار بارش نسبت به دوره پایه کمتر شده و سپس با پیشروی به تاریخ کشت‌های دیر هنگام بیشتر می‌شود. از سوی دیگر این افزایش تا تاریخ کشت ۲۲ اکتبر تداوم داشته و بعد از آن مجدداً کاهش می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد که در تاریخ کشت زود هنگام (۲۲ سپتامبر) و نه خیلی دیر هنگام (۲ و ۱۲ نوامبر) مقادیر بارش بیشترین مقدار نیست بلکه در تاریخ کشت ۲۲ اکتبر و ۲ نوامبر بیشترین بارش مرحله فنولوژیکی رویشی دریافت خواهد شد. در دو مرحله فنولوژیکی گلدهی و رسیدگی مقدار بارش تنها در تاریخ کشت ۲۲ سپتامبر همه سناریوها بیشتر از دوره پایه بوده و در سایر تاریخ کشت‌ها کمتر خواهد گردید به طوری که کمترین مقدار بارش دوره گلدهی و رسیدگی در دیرترین تاریخ کشت (۱۲ نوامبر) به دست خواهد آمد. همچنین نتایج نشانگر کاهش شدید بارش در این دو مرحله از زودترین تا دیرترین تاریخ کشت است. نتایج کلی نشان می‌دهد در کل دوره رشد مقادیر بارش در ابتدا کمتر از دوره پایه بوده (تاریخ کشت ۲۲ سپتامبر و ۲ اکتبر) سپس رو به افزایش گذاشته (تا تاریخ کشت ۲۲ اکتبر) و در ۲ و ۱۲ نوامبر کاهش می‌یابد. بنابراین مناسب‌ترین تاریخ کشت از نظر دریافت حداکثر بارش می‌تواند تاریخ‌های ۱۲ و ۲۲ اکتبر باشد. همچنین نتایج بیانگر اختلاف زیاد بین بارش ایستگاه‌ها و سایر ایستگاه‌هاست. به عقیده مصمم و همکاران (۲۰۱۶) کاهش بارش و افزایش دما در آینده موجب کاهش عملکرد گندم در منطقه همدان خواهد شد که نتایج به دست آمده در مورد متغیر اقلیمی بارش آن با مطالعه کنونی تحت تاریخ کشت‌های مختلف همخوانی

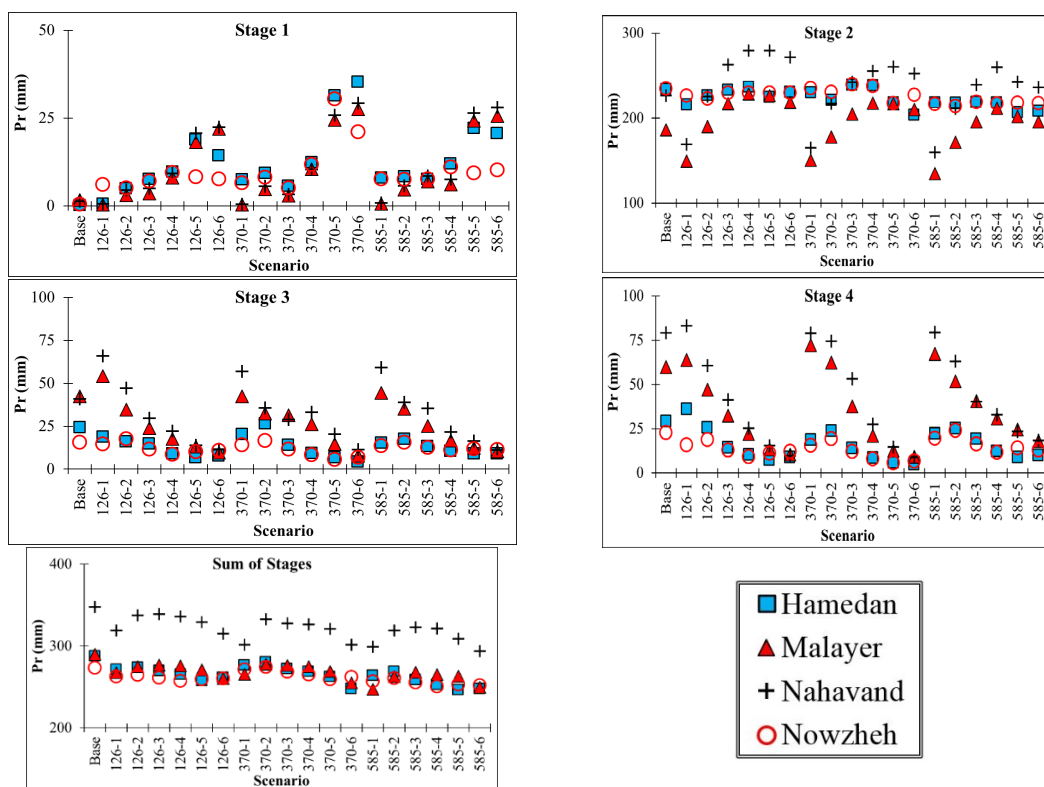
دارد. این در حالی است که مطالعه کنونی این وضعیت را در کل تک‌تک مراحل فنولوژیکی به تفکیک مورد بررسی و واکاوی قرار داد.

### تبخیر و تعرق

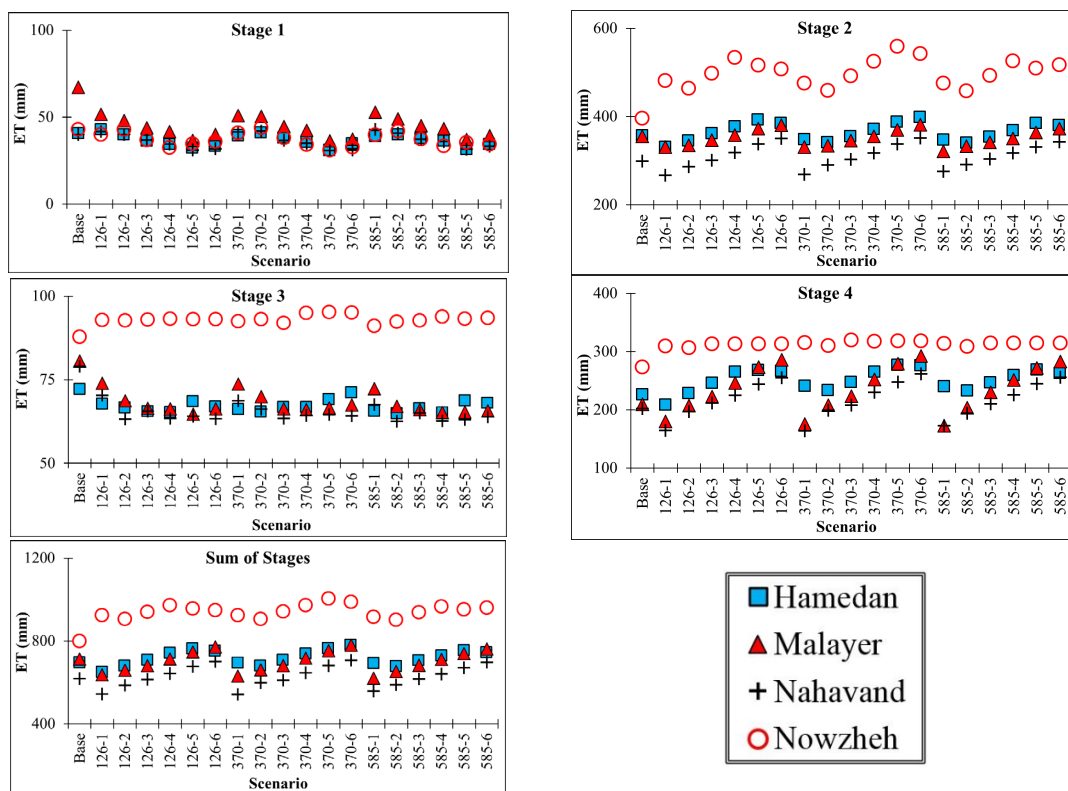
تغییرات تبخیر و تعرق در مراحل فنولوژیکی مختلف در ایستگاه‌های همدان در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج مقادیر تبخیر و تعرق در مرحله فنولوژیکی جوانه‌زنی در اکثر سناریوها و تاریخ کشت‌ها نسبت به دوره پایه کاهش داشته است که در کشت‌های دیر هنگام این اختلاف بیشتر می‌گردد. در مرحله رویشی مشخص می‌گردد مقدار تبخیر و تعرق ایستگاه نوژه نسبت به سایر ایستگاه مقادیر بیشتری دارد. همچنین این نتایج مشخص می‌کند مقادیر تبخیر و تعرق در ایستگاه نوژه در سناریوها و تاریخ کشت‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت (دوره پایه ۳۹۶/۵ میلیمتر در مقابل کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب ۴۵۸/۴ و ۵۵۹/۱ میلیمتر) در حالی که در سایر ایستگاه‌ها در همه سناریوها و تاریخ کشت‌ها از تاریخ ۲۲ سپتامبر تا ۱۲ اکتبر کاهش تبخیر و تعرق نسبت به دوره پایه دیده می‌شود (دوره پایه در ایستگاه‌های مختلف ۲۹۸/۷ تا ۳۵۴/۸ میلیمتر) در حالی که از ۲۲ اکتبر تا ۱۲ نوامبر افزایش دارد (دوره آینده ۳۱۸/۹ تا ۳۹۸/۵ میلیمتر). تغییرات تبخیر و تعرق در دوره گلدهی در دوره پایه روند افزایشی در ایستگاه نوژه و روند افزایشی در سایر ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. بنابراین در دوره آینده تنها در ایستگاه نوژه تغییرات مثبت و افزایشی تبخیر و تعرق در همه سناریوها و تاریخ کشت‌ها دیده می‌شود در حالی که در سایر ایستگاه این تغییرات کاهش خواهد بود. بررسی نتایج در مرحله رسیدگی نشان‌دهنده روند افزایشی و در عین حال یکنواخت تبخیر و تعرق در ایستگاه نوژه در سناریوها و تاریخ کشت‌های مختلف است در حالی که در سایر ایستگاه‌ها در تاریخ کشت‌های ۲۲ سپتامبر و ۲ اکتبر کاهش تبخیر و تعرق دیده می‌شود (۱۶۳/۴ تا ۲۳۳/۸ میلیمتر) در صورتی که با پیشروی به تاریخ کشت‌های دیرتر با شیب تند روند تبخیر و تعرق افزایش خواهد داشت و در تاریخ ۱۲ نوامبر به حداکثر خود خواهد رسید (۲۵۵/۵ تا ۲۸۵/۹ میلیمتر). این نتایج نشان می‌دهد که در تاریخ کشت‌های دیر

سایر محققان نشان می‌دهد در نتیجه افزایش دما، تبخیر و تعرق غرب ایران در آینده افزایش خواهد یافت که این افزایش دما کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد گندم و در نتیجه کاهش تبخیر و تعرق گیاه گندم خواهد شد (آزاد و همکاران، ۲۰۱۸؛ داوود و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعه کنونی نیز نشان می‌دهد به استثنای مرحله جوانه‌زنی و رویشی (افزایش تبخیر و تعرق) در سایر مراحل شاهد کاهش تبخیر و تعرق خواهیم بود ولی در تاریخ کشت‌های دیر هنگام شاهد افزایش تبخیر و تعرق خواهیم بود. دلیل این افزایش نیز همزمانی مراحل گلدهی و رسیدگی با روزهای گرم اواخر بهار و اوایل تابستان در تاریخ کشت‌های دیر هنگام می‌باشد.

هنگام در مرحله رسیدگی شاهد افزایش تبخیر و تعرق خواهیم بود در حالی که در تاریخ کشت‌های زود هنگام ۲۲ سپتامبر و ۲ اکتبر شاهد کاهش تبخیر و تعرق خواهند بود. این نتایج نشان می‌دهد استفاده از تاریخ دیر کاشت باعث همزمانی مرحله رسیدگی با روزهای گرم‌تر و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق خواهد شد. بررسی تغییرات تبخیر و تعرق در کل دوره رشد نیز نشان می‌دهد تیمارهای زود کاشت (عمدتاً ۲۲ سپتامبر تا ۱۲ اکتبر) کمتر از دوره پایه است ولی در تاریخ‌های بعد از ۲۲ اکتبر تا ۱۲ نوامبر این مقادیر افزایش خواهد داشت. همچنین میزان تبخیر و تعرق ایستگاه نوره در همه سناریوها و تاریخ کشت‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد بود. بررسی



شکل ۵- تغییرات بارش در مراحل فنولوژیکی و کل دوره رشد در سناریوها و تاریخ‌های کشت متفاوت در ایستگاه‌های استان همدان (نکته: مراحل ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مراحل جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی؛ ۱۲۶، ۳۷۰ و ۵۸۵ به ترتیب سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5؛ ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب تاریخ کشت‌های ۲۲ سپتامبر، ۲ اکتبر، ۱۲ اکتبر، ۲۲ اکتبر، ۲ نوامبر و ۱۲ نوامبر)



شکل ۶- تغییرات تبخیر و تعرق در مراحل مختلف فنولوژیکی و کل دوره رشد در سناریوها و تاریخ‌های کشت متفاوت در ایستگاه‌های استان همدان (نکته: مراحل ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مراحل جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی؛ ۱۲۶، ۳۷۰ و ۵۸۵ به ترتیب سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5؛ ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب تاریخ کشت‌های ۲۲ سپتامبر، ۲ اکتبر، ۱۲ اکتبر، ۲۲ اکتبر، ۲ نوامبر و ۱۲ نوامبر)

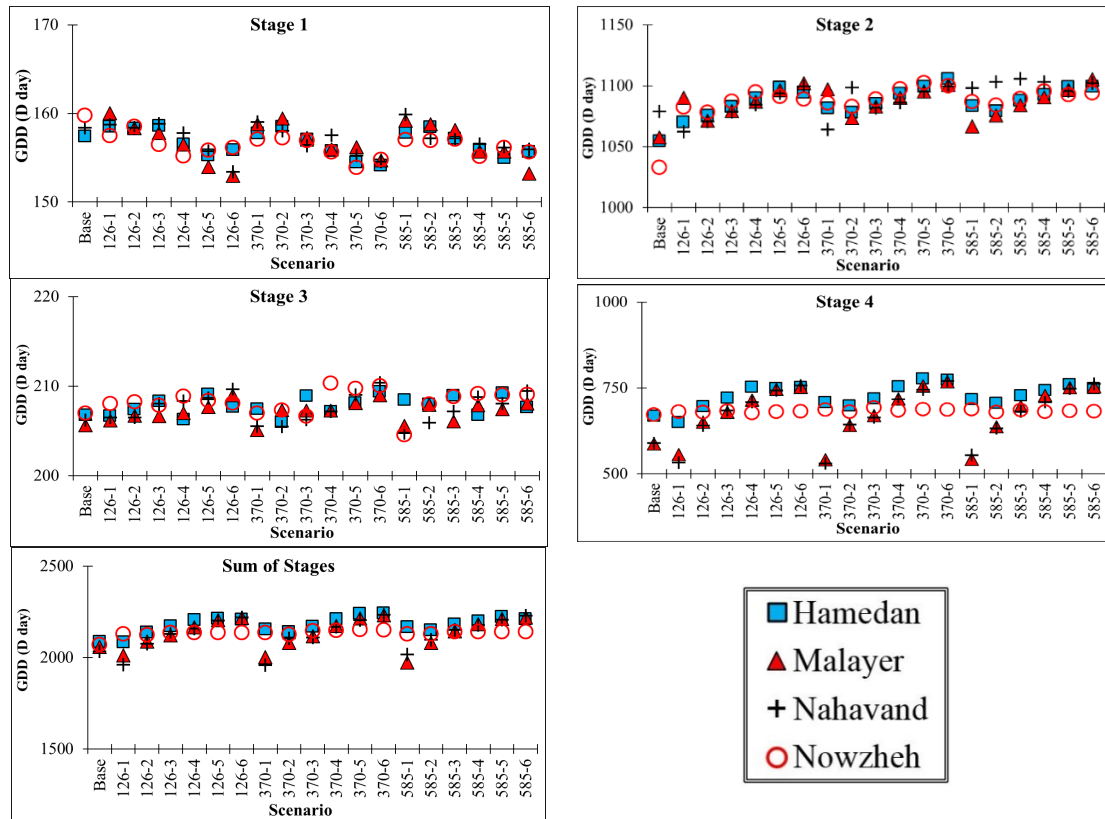
است که مصادف با گرم‌تر شدن دما و افزایش مقادیر دمای روزانه می‌باشد. بر این اساس تغییرات محسوسی در نیاز حرارتی گندم دیم ایستگاه‌های استان همدان در سناریوها و تاریخ کشت‌های مختلف دیده نمی‌شود (به استثنای دوره رسیدگی). در سایر مطالعات انجام شده کل طول دوره رشد بدون در نظر گرفتن مراحل فنولوژیکی مورد بررسی قرار گرفته است (حسام عارفی و همکاران، ۲۰۱۷؛ دهبیم‌فرد و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰) در حالی که در مطالعه کنونی طول دوره رشد به تفکیک مراحل فنولوژی انجام شده و اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت طول مراحل فنولوژیکی تحلیل شده است. همچنین مصمم و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که افزایش دما موجب کاهش عملکرد گندم دیم و در نتیجه کاهش طول دوره رشد خواهد شد چرا که در وضعیت آینده به ازای هر روز نیاز حرارتی بیشتری نسبت به دوره پایه تامین خواهد شد که با نتایج به دست آمده مطالعه کنونی تطابق نشان می‌دهد. نکته اساسی دیگر این است

#### درجه روز رشد

بررسی نیاز حرارتی (درجه روز رشد) در تک تک مراحل فنولوژیکی تحت سناریوها و تاریخ کشت‌های مختلف در ایستگاه‌های استان همدان در شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس این نتایج در تمام مراحل فنولوژیکی، سناریوهای اقلیمی، تاریخ کشت‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییرات جزئی دیده می‌شود ولی در مرحله فنولوژیکی رسیدگی تغییرات کاهشی در تاریخ کشت ۲۲ سپتامبر (در همه سناریوها) (۵۳۳ تا ۶۴۹ درجه روز رشد) نسبت به دوره پایه (بین ۵۹۰ تا ۶۷۰ درجه روز رشد در همه ایستگاه‌ها) دیده می‌شود ولی با پیشروی به سوی تاریخ کشت‌های دیرتر این تغییرات افزایشی شده و در تاریخ کشت ۱۲ نوامبر به حداکثر خود می‌رسد (۶۸۲ تا ۷۵۷ درجه روز رشد، ۶۸۶ تا ۷۷۰ درجه روز رشد و ۶۸۲ تا ۷۶۲ درجه روز رشد به ترتیب در سناریوهای ۱.۲۶ SSP، ۳۷۰ SSP و ۵۸۵ SSP). این امر به دلیل تغییر تاریخ رسیدگی به انتهای فصل بهار و اوایل تابستان

دما انجام شود که با نتایج به دست آمده هلالی و همکاران (۱۳۹۵) متفاوت است.

که در مدل‌های زراعی محاسبه نیاز حرارتی بر اساس میانگین دمای روزانه مورد محاسبه قرار می‌گیرد در حالی که باید با در نظر گرفتن دمای صفر بیولوژیکی و روش حداقل-حداکثر



شکل ۷- تغییرات درجه روز رشد در مراحل فنولوژیکی و کل دوره رشد در سناریوها و تاریخ های کشت متفاوت در ایستگاه‌های استان همدان (نکته: مراحل ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مراحل جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی؛ ۱۲۶، ۳۷۰ و ۵۸۵ به ترتیب سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5؛ ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب تاریخ کشت‌های ۲۲ سپتامبر، ۲ اکتبر، ۱۲ اکتبر، ۲۲ اکتبر، ۲ نوامبر و ۱۲ نوامبر)

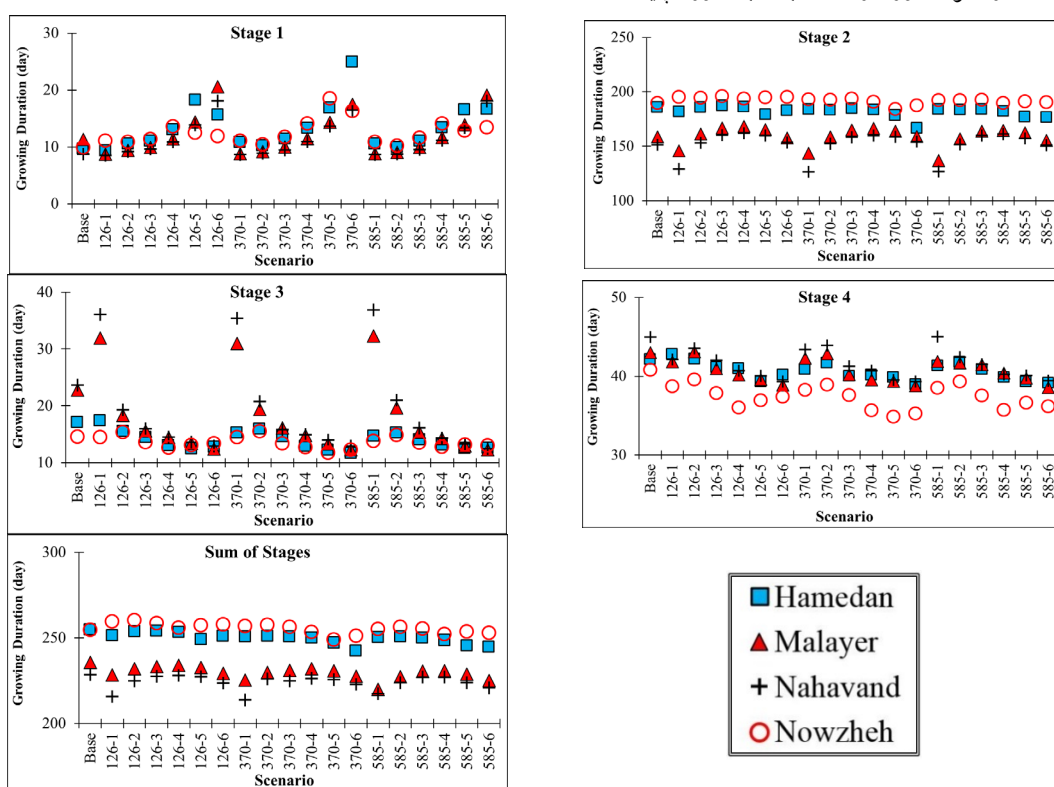
و افزایشی (همدان و نوره) نسبت به دوره پایه وجود دارد (دوره پایه ۱۵۰ تا ۱۹۰ روز؛ سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۱۲۹ تا ۱۹۵، ۱۲۶ تا ۱۹۳، ۱۹۳ تا ۱۹۲ روز) در حالی که از تاریخ کشت ۲ اکتبر به بعد تغییرات محسوسی نسبت دوره پایه دیده نمی‌شود. در دوره فنولوژیکی گلدهی مقادیر طول دوره در همه سناریوها و تاریخ کشت‌ها نسبت به دوره پایه کاهش نشان می‌دهد ولی در تاریخ کشت ۲۲ سپتامبر یک جهش شدید دیده می‌شود (دوره پایه ۱۴/۶ تا ۲۴/۶ روز، سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۱۴/۵ تا ۳۶/۰، ۱۴/۵ تا ۳۵/۰ و ۱۴ تا ۳۷ روز). به عقیده صابرعلی و همکاران (۲۰۲۲) طول دوره فنولوژیکی گندم دیم به خصوص در دوره

### طول دوره مراحل فنولوژیکی

بررسی تغییرات طول دوره‌های فنولوژیکی جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی در سناریوها و تاریخ کشت‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۸ ارائه شده است. بر اساس این نتایج در مرحله جوانه‌زنی در سناریوهای اقلیمی، تاریخ کشت‌ها و ایستگاه‌های استان همدان با تغییر تاریخ کشت از تیمارهای زودکشت به دیر کشت افزایش می‌یابد (دوره پایه ۸/۷ تا ۱۱/۰ روز؛ سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۱۱/۹ تا ۲۰/۳، ۱۶/۳ تا ۱۷/۹ و ۱۳/۵ تا ۱۹/۰ روز) به طوری که در تاریخ کشت ۱۲ نوامبر به حداکثر خود می‌رسد. در دوره رویشی نیز نتایج نشان می‌دهد در تاریخ کشت ۲۲ سپتامبر تغییرات کاهشی (نپاوند

بنابراین نتایج مشخص گردید در دوره آینده تحت سناریوهای مختلف طول دوره جوانه‌زنی افزایش خواهد یافت ولی طول دوره‌های رویشی (با شیب کمتر)، و طول دوره گلدهی و رسیدگی (با شیب بیشتر) کاهش خواهد داشت. دهقانی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند بخش غربی ایران در دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ شاهد کاهش فصل رشد گندم باشد که با نتایج مطالعه کنونی تطبیق دارد.

پرسیدن دانه می‌تواند بین ۲ تا ۴ روز در دوره آینده نسبت به دوره پایه و کنونی کاهش داشته باشد که با نتایج این مطالعه تطبیق دارد. نتایج نشان می‌دهد طول دوره رسیدگی با پیشروی به تاریخ کشت‌های دیرتر کاهش تدریجی و شیب ملایم‌تر دارد (دوره پایه ۴۱ تا ۴۵ روز؛ سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب ۳۷ تا ۳۹، ۳۵ تا ۳۹، ۳۶ تا ۳۹ روز). تحلیل نتایج کل دوره نشان دهنده عدم تغییر معنادار طول دوره رشد نسبت به دوره پایه است.



شکل ۸- تغییرات طول دوره مراحل فنولوژیکی در سناریوهای تاریخ‌های کشت متفاوت در ایستگاه‌های استان همدان (نکته: مراحل ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مراحل جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی؛ ۱۲۶، ۳۷۰ و ۵۸۵ به ترتیب سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5؛ ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب تاریخ کشت‌های ۲۲ سپتامبر، ۲ اکتبر، ۱۲ اکتبر، ۲۲ اکتبر، ۲ نوامبر و ۱۲ نوامبر)

در شمال شرق ایران کاهش قابل‌توجه طول دوره رشد، ولیزاده و همکاران، ۲۰۱۴ منطقه سیستان و بلوچستان دوره رشد گندم در همه سناریوهای تغییر اقلیمی در مقایسه با دوره پایه کاهشی؛ مقدم و همکاران، ۲۰۲۳ دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، افزایش حاشیه‌ای عملکرد گندم برای دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ کاهش طول فصل رشد و عملکرد گندم دیم؛ لو و همکاران، ۲۰۱۳ تغییر طول دوره گلدهی در آینده؛ هی و همکاران، ۲۰۱۵ طول دوره کاشت، تاخیر در ظهور و شروع خواب زمستانه به صورت میانگین به ترتیب ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۲

### نتیجه‌گیری

بررسی منابع مطالعاتی نشان می‌دهد تغییر اقلیمی موجب تغییر در فرآیندهای اقلیمی و اقلیمی کشاورزی خواهد شد (هلالی و همکاران، ۲۰۲۲) به این مفهوم که دوره‌های فنولوژیکی، تغییرهای اقلیمی و عملکرد نیز دچار تغییر خواهند شد. مطالعات صورت گرفته نیز تغییرات تغییرهای اقلیمی و طول دوره رشد را با توجه به تغییرات اقلیمی اثبات کرده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳ در استان کرمانشاه طول دوره رشد گندم دیم ۲۵ روز کوتاه‌تر؛ ایشی رضایی و بنایان، ۲۰۱۲

بسیاری دارد بنابراین استفاده از مدل‌های مکانیزم‌گرا در ترکیب با مدل‌های یادگیری ماشین می‌تواند به عنوان موضوع تحقیقاتی آتی در نظر گرفته شود. بنابراین مطالعه تأثیر متغیرهای اقلیمی و اقلیمی‌کشاورزی بر عملکرد گندم دیم با توجه به این تغییرات ضروری به نظر می‌رسد. پیشنهاد می‌شود محققین به تأثیر این پدیده‌ها بر عملکرد گندم دیم با استفاده از چند مدل زراعی و همچنین راهکارهای مدیریتی دیگر از جمله تغییر رقم، تغییرات تغذیه‌ای و در صورت امکان استفاده از آبیاری تکمیلی بپردازند. همچنین با توجه به اینکه با روند تغییرات اقلیمی ممکن است متغیرهای اقلیمی متفاوتی نسبت به دوره پایه بر فنولوژی و عملکرد گندم دیم اثرگذار باشد تلاش گردد نوع و مقدار تأثیرگذاری این متغیرها در آینده تحت سناریوهای متفاوت، اقلیم‌های متنوع، مراحل فنولوژیکی مختلف در ارقام گندم مورد بررسی قرار گرفته و از طریق مدل‌های پیچیده‌تر مورد بررسی قرار گیرد. از سوی دیگر دقت و صحت مدل‌های زراعی مکانیزم‌گرای مختلف نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

### منابع

- 1- Abshenas, M., Kamkar, B., Soltani, A. and Kazemi, H., 2022. Predicting the effects of climate change on physiological parameters determining wheat yield in 2050 (case study: Golestan Province, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10):734
- 2- Azad, N., Behmanesh, J., Rezaverdinejad, V., & Tayfeh Rezaie, H., 2018. Climate change impacts modeling on winter wheat yield under full and deficit irrigation in Myandoab-Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(5): 731-746.
- 3- Coleman-Jensen, A., Rabbitt, M.P., Gregory, C.A. and Singh, A., 2022. Household food security in the United States. *Economic Research Report*, 155.
- 4- Dawoud, R. A., Noreldin, T., Shehata, R. S., Moawod, H., & Kasem, A., 2023. Calibration of the DSSAT-CERES Wheat Crop Model under Scenarios of Climate Change Adaptation and Biotic Stress. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 26(8): 52-64.
- 5- de Sousa, T., Ribeiro, M., Sabença, C. and Igrejas, G., 2021. The 10,000-year success story of wheat!. *Foods*, 10(9): 2124.
- 6- Deihimfard, R., Eyni Nargeseh, H., & Farshadi, S. H., 2017. Modeling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency

روز در هر دهه؛ رشید و همکاران، ۲۰۱۹ کوتاه‌تر شدن چرخه رشد و نمو در نتیجه گرمایش جهانی). بررسی نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که در کل دوره اقلیمی (نه دوره رشد محصول گندم دیم) در سطح ایستگاه‌های سینوپتیک استان همدان در اقلیم آینده تحت مدل‌های CMIP6 و سناریوهای SSP مقادیر بارش کاهش خواهد یافت (بیشترین کاهش در سناریوی SSP5-8.5) در حالی که در متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد و متغیرهای دمایی شاهد افزایش نسبت به دوره پایه خواهند بود.

تحلیل نتایج نشان می‌دهد در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان همدان (به جز ایستگاه نوژه) طول دوره رشد در همه سناریوها و تاریخ کشت‌ها نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت که در تاریخ‌های دیرکاشت انحراف معیار و ضریب تغییرات طول دوره نیز کاهش خواهد یافت که نشان‌دهنده نوسانات کمتر در سناریوهای آتی است که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (نصیری و همکاران، ۱۳۸۵؛ ایشی رضایی و بنایان، ۲۰۱۲؛ ولیزاده و همکاران، ۲۰۱۴؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ هی و همکاران، ۲۰۱۵؛ نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ آبناس و همکاران، ۲۰۲۲؛ مقدم و همکاران، ۲۰۲۳؛ لونگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ ایشاک و همکاران، ۲۰۲۳). دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش دما در دوره آینده نسبت به دوره پایه نیاز حرارتی گندم دیم در مدت کوتاه‌تری تامین خواهد شد. همچنین مطالعات دیگر نیز دلیل این امر را در نتیجه افزایش دما، کاهش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی می‌دانند (حسام عارفی و همکاران، ۲۰۱۷؛ دیهیم‌فرد و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰). در این مطالعه مشخص شد تحلیل متغیرهای اقلیمی و اقلیمی‌کشاورزی باید بر اساس مراحل مختلف فنولوژیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. این در حالی است که متغیرهای درجه روز رشد، تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی تغییرات افزایشی را بسته به مرحله فنولوژیکی تجربه خواهند کرد ولی متغیر طول دوره-های فنولوژیکی هم روندهای کاهشی و هم افزایشی را تجربه خواهند کرد. با توجه به این نتایج پیش‌بینی می‌شود در آینده در استان همدان شاهد تشدید تأثیرات اقلیمی بر مراحل مختلف فنولوژیکی گندم دیم باشد. از سوی دیگر پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در وضعیت نوسانات اقلیمی آینده اهمیت

- Crops Research, 29(1): 8-18. doi: 10.22092/aj.2016.109215
- 20- Hesam Arefi, I., Saffari, M., & Moradi, R., 2017. Evaluating planting date and variety management strategies for adapting winter wheat to climate change impacts in arid regions. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9(6): 846-863.
- 21- Hosseini, T., Khoshravesh, M. and Ziatabar Ahmadi, M., 2015. Effect of Climate Change and Evaluation of Planting Date on Soybean Yield. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(4): 559-575. doi: 10.22092/jwra.2016.105829
- 22- Ishaque, W., Osman, R., Hafiza, B.S., Malghani, S., Zhao, B., Xu, M. and Ata-Ul-Karim, S.T., 2023. Quantifying the impacts of climate change on wheat phenology, yield, and evapotranspiration under irrigated and rainfed conditions. *Agricultural Water Management*, 275: 108017.
- 23- Kheirandish, M., Ghahreman, N. and Bazrafshan, J., 2013. A Study of the Effects of Climate Change on Length of Growing Season in Several Climatic Regions of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(2): 143-150. doi: 10.22059/ijswr.2013.50059
- 24- Kogan, F., 2019. Remote sensing for food security. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer International Publishing.
- 25- Long, X.X., Ju, H., Wang, J.D., Gong, S.H. and Li, G.Y., 2022. Impact of climate change on wheat yield and quality in the Yellow River Basin under RCP8.5 during 2020–2050. *Advances in Climate Change Research*, 13(3): 397-407.
- 26- Lv, Z., Liu, X., Cao, W. and Zhu, Y., 2013. Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 171: 234-248.
- 27- Maryanaji, Z., Hoseini, S.A., and Abbasi, H., 2017. Analysis of the effects of drought on wheat production and rural migration in Hamadan province, *Journal Space Economy and Rural Development*, 19: 95-112
- 28- Moghaddam, H., Oveisi, M., Mehr, M.K., Bazrafshan, J., Naeimi, M.H., Kaleibar, B.P. and Müller-Schärer, H., 2023. Earlier sowing combined with nitrogen fertilization to adapt to climate change effects on yield of winter wheat in arid environments: Results from a field and modeling study. *European Journal of Agronomy*, 146: 126825.
- 29- Moghaddam, H., Oveisi, M., Mehr, M.K., Bazrafshan, J., Naeimi, M.H., Kaleibar, B.P. and Müller-Schärer, H., 2023. Earlier sowing combined with nitrogen fertilization to adapt to climate change effects on yield of winter wheat in arid environments: Results from a field and modeling study. *European Journal of Agronomy*, 146: 126825.
- 30- Mohammadi, E., Yazdanpnah, H. and Mohammadi, F., 2014. Event of climate change, of wheat fields of Khuzestan province. *Water and Soil*, 31(4):1015-1030.
- 7- Delghandi, M., Broomandnasab, S., Andarzian, B., & Massah-Bovani, A. R., 2016. Adaptation Strategies of Wheat to Climate Change (Case Study: Ahvaz Region). *Water and Soil*, 30(1):300-311.
- 8- Eyshi Rezaie, E. and Bannayan, M., 2012. Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorological Applications*, 19(3):346-354.
- 9- FAO. 1995. An atlas of food and agriculture. Food and Agriculture organization of the United Nations.
- 10- FAO. 2021a. Land use statistics and indicators: Global, regional and country trends 1990– 2019. FAO. Retrieved December 13, 2021, from <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb6033en>
- 11- FAO. 2021b. FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved January 15, 2022, from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS>
- 12- Haile, M.G., Wossen, T., Tesfaye, K. and von Braun, J., 2017. Impact of climate change, weather extremes, and price risk on global food supply. *Economics of Disasters and Climate Change*, 1:55-75.
- 13- Hajarpoor, A., Meghdadi, N., Soltani, A. and Kamkar, B. 2016. Assessment of the Adaptation Strategies in Rainfed Chickpea in Response to Future Climate Change in Zanjan Province. *Journal of Agroecology*, 8(2): 169-181. doi: 10.22067/jag.v8i2.34886
- 14- He, Y., Hou, L., Wang, H., Hu, K. and McConkey, B., 2014. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rain-fed condition. *Scientific reports*, 4(1):5736.
- 15- Heidari, A. and Eskandari, I., 2013. The Effect of Three Common Grain Drills on Dryland Wheat Yield. *Journal of Agricultural Machinery*, 3(1): 32-40. doi: 10.22067/jam.v3i1.19712
- 16- Heidari, A. and Soltani, H., 2016. Effect of Conservation Tillage and Crop Rotation on Dryland Wheat Yield and Weed Population. *Research in Crop Ecosystems*, 3(1, 2): 11-17.
- 17- Helali, J., 2018, Seasonal forecasting of rainfed wheat yield by combining crop and statistical models, Phd Thesis in Agrometeorology, University of Tehran
- 18- Helali, J., Asadi Oskouei, E., Hosseini, S.A., Saeidi, V. and Modirian, R., 2022. Projection of changes in late spring frost based on CMIP6 models and SSP scenarios over cold regions of Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, DOI: 10.1007/s00704-022-04124-2
- 19- Helali, J., Ghahreman, N. and Khalili, A., 2016. Comparison of winter wheat GDD values calculated using daily and hourly temperature data in two climatic regions of Iran. *Applied Field*

- useful?. *Meteorological Applications*, 24(3): 531-539.
- 42- Tarasuk, V. and Mitchell, A., 2020. Household food insecurity in Canada, 2017-2018.
- 43- Valizadeh, J., Ziaei, S.M. and Mazlounzadeh, S.M., 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi society of agricultural sciences*, 13(2):107-115.
- 44- Wen, P., Wei, Q., Zheng, L., Rui, Z., Niu, M., Gao, C., Guan, X., Wang, T. and Xiong, S., 2023. Adaptability of wheat to future climate change: Effects of sowing date and sowing rate on wheat yield in three wheat production regions in the North China Plain. *Science of The Total Environment*, 901: 165906.
- 45- Zare Abianeh, H. , Yazdany, V. and Azhdary, K., 2010. Comparative Study of Four Meteorological Drought Index Based on Relative Yield of Rain Fed Wheat in Hamedan Province. *Physical Geography Research*, 41(69): 35-49.
- 46- Zheng, Z., Cai, H., Wang, Z., & Wang, X., 2020. Simulation of climate change impacts on phenology and production of winter wheat in Northwestern China using CERES-wheat model. *Atmosphere*, 11(7): 681.
- 47- Zhou, Z.Y., 2019. *Global Food Security: What Matters?*. Routledge.
- its impact on durum wheat planting and during the growing season case study: station of Sararood, Kermanshah. *Physical Geography Research*, 46(2): 231-246. doi: 10.22059/jphgr.2014.51427
- 31- Mosammam, H. M., Mosammam, A. M., Sarrafi, M., Nia, J. T., & Esmacilzadeh, H., 2016. Analyzing the potential impacts of climate change on rainfed wheat production in Hamedan Province, Iran, via generalized additive models. *Journal of Water and Climate Change*, 7(1): 212-223.
- 32- Nasiri Mahallati, M., Koucheki, A., Kamali, G. and Marashi, H., 2006. Investigation the effects of climate change on Iran's agricultural climate indicators, *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, 20 (7): 71-82
- 33- Nouri, M., Homaeel, M., Bannayan, M. & Hoogenboom, G., 2017. Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change, *Agricultural Water Management*, 186: 108-119.
- 34- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: a model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253: 1-14.
- 35- Rashid, M.A., Jabloun, M., Andersen, M.N., Zhang, X. and Olesen, J.E., 2019. Climate change is expected to increase yield and water use efficiency of wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 222: 193-203.
- 36- Saberli, S. F., Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z., & Nasrabadi, H. N., 2022. Simulating Wheat Production Potential Under Near-future Climate Change in Arid Regions of Northeast Iran.
- 37- Sabziparvar, A., Torkaman, M. and Merianji, Z., 2013. Investigating the Effect of Agroclimatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance (Case study: Hamedan Province). *Water and Soil*, 26(6): 1554-1567. doi: 10.22067/jsw.v0i0.19295
- 38- Sadeghi, H., Mohamadi, H., Shamsipour, A., Zarei, K. and Karimi, M., 2022. Spatial Relations between Climatic Variables and Wheat Yield in Iran. *Geography and Development*, 20(68): 184-214. doi: 10.22111/gdij10.22111.2022.7008
- 39- Salehi, M., Abbasi, E., Bijani, M. and Shahpasand, M. R., 2020. The Impact of Agricultural Extension Site Approach on Optimizing Agricultural Input Consumption and increasing the yield of dominant products in Hamedan Province, Iran. *Agricultural Education Administration Research*, 12(53): 53-76. doi: 10.22092/jaear.2021.342572.1716
- 40- Shrestha, A., Rahaman, M.M., Kalra, A., Jogineedi, R. and Maheshwari, P., 2020. Climatological drought forecasting using bias corrected CMIP6 climate data: A case study for India. *Forecasting*, 2(2): 59-84.
- 41- Shrestha, M., Acharya, S.C. and Shrestha, P.K., 2017. Bias correction of climate models for hydrological modelling—are simple methods still