



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۰ | دی ۱۴۰۰ (ص ۲۶۶۵-۲۶۷۷)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.321307.668925>

(مقاله علمی - پژوهشی)

## Evaluation of Yield Changes and Length of Dryland Wheat Phenological Stages under RCP Scenario Using DSSAT and AquaCrop Models in Western Iran

MOHAMMAD LOTFI<sup>1</sup>, GHOLAM ALI KAMALI<sup>1\*</sup>, AMIR HUSSAIN MESHKATEE<sup>1</sup>, VAHID VARSHAVIAN<sup>2</sup>

1. Department of Earth Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

(Received: Apr. 10, 2021- Revised: June. 25, 2021- Accepted: Oct. 25, 2021)

### ABSTRACT

The impact of climate change as the most important factor affecting agriculture, especially rainfed cultivation has challenged the management of these resources. This study tries to investigate the effect of climate change on the yield and length of the dryland wheat phenological stages in western Iran. For this purpose, two downscaling models, SDSM and LarsWG, were used to simulate the climate over the next 30 years. To model the performance and phenological stages, two models of AquaCrop and DSSAT in the base period and the future period were used, considering the three RCP climate scenarios of 2.6, 4.5, and 8.5. The results showed that the AquaCrop model has better performance and less error than DSSAT. So that the value of the coefficient of determination between observed and simulated data in the base period with AquaCrop model in Kermanshah, Sanandaj, and Ilam stations are 0.86, 0.64, and 0.89, respectively; and RMSE coefficient values are 198.6, 274.6 and 192 kg/ha, respectively. While, in the DSSAT model, the coefficient of determination is 0.90, 0.11, and 0.82, respectively, and the RMSE coefficient is 219.9, 288.1, and 238 kg/ha, respectively. The general results show that in LarsWG downscale model with AquaCrop and DSSAT agronomic model, the lowest yields are allocated to Kermanshah, Sanandaj, and Ilam in 8.5, 4.5, and 8.5 scenarios, respectively, and the highest yields are obtained in 2.6, 2.6, and 4.5 scenarios; which indicates a decrease in performance in the scenario of rising temperature and rising carbon dioxide. However, in the SDSM downscale model, the highest yield of dryland wheat is mainly in scenarios 4.5 and 8.5, and the lowest yield will be in scenario 2.6, which is different from the results of the LarsWG model. According to these results, it can be stated that the type of downscale model and crop model can be effective in the obtained results.

**Keywords:** Dryland Wheat, Yield, RCP, Climate Change.

\* Corresponding Author's Email: a.kamali@srbiau.ac.ir

## بررسی تغییرات عملکرد و طول مراحل فنولوژی گندم دیم تحت سناریوی RCP با استفاده از دو مدل DSSAT و AquaCrop در غرب ایران

محمد لطفی<sup>۱</sup>، غلامعلی کامالی<sup>۱\*</sup>، امیرحسین مشکوتی<sup>۱</sup>، وحید ورشایان<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم زمین، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۳)

### چکیده

تأثیر تغییر اقلیم به عنوان مهمترین عامل موثر بر کشاورزی و به خصوص کشت دیم، مدیریت این منابع را در آینده با چالش همراه ساخته است. این مطالعه تلاش دارد تأثیر تغییر اقلیم را بر مقدار عملکرد و طول مراحل فنولوژی گندم دیم در غرب ایران مورد بررسی قرار دهد. به این منظور از دو مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LarsWG برای شبیه‌سازی اقلیم در دوره ۳۰ ساله آتی استفاده شد. برای مدلسازی عملکرد و مراحل فنولوژی نیز از دو مدل DSSAT و AquaCrop در دوره پایه و دوره آتی با لحاظ نمودن سه سناریوی اقلیمی RCP ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد. نتایج نشان داد کارایی مدل AquaCrop در مقایسه با DSSAT جهت پیش‌بینی عملکرد بهتر بوده و خطای کمتری دارد؛ به طوری که مقدار ضریب تبیین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل AquaCrop در ایستگاه‌های کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۶۴ و ۰/۸۹ و ضریب RMSE به ترتیب ۱۹۸/۶، ۲۷۴/۶ و ۱۹۲/۰ کیلوگرم در هکتار است. در صورتی که در مدل DSSAT مقدار ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۱۱ و ۰/۸۲ و ضریب RMSE نیز به ترتیب ۲۱۱/۹، ۲۸۸/۱ و ۲۳۸ کیلوگرم در هکتار است. نتایج کلی نشان می‌دهد در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG با مدل زراعی AquaCrop و DSSAT کمترین عملکرد برای ایستگاه‌های کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب در سناریوی ۸/۵، ۴/۵ و ۸/۵ و بیشترین عملکرد در سناریوی ۲/۶، ۲/۶ و ۴/۵ به دست می‌آید که نشان دهنده کاهش عملکرد در سناریوی افزایش دما و افزایش دی‌اکسیدکربن است. این در حالی است که در مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM بیشترین عملکرد گندم دیم عمدتاً در سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ بوده و کمترین عملکرد در سناریوی ۲/۶ خواهد بود که با نتایج مدل LarsWG متفاوت است. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد نوع مدل ریزمقیاس‌نمایی و مدل زراعی می‌تواند در نتایج به دست آمده موثر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** گندم دیم، پیش‌بینی عملکرد، RCP، تغییر اقلیم.

### مقدمه

است. تغییرات دمایی می‌تواند باعث کاهش طول دوره رشد (Saadi *et al.*, 2015) و کاهش بارش می‌تواند سبب کاهش عملکرد گردد (Ortiz *et al.*, 2008؛ Ranuzzi & Srivastava, 2012)؛ هر چند تأثیر متقابل این دو عامل می‌تواند خیلی پیچیده‌تر باشد.

به این منظور در دهه‌های اخیر تلاش شده است با استفاده از مدل‌های زراعی مکانیزم‌گرا که توان بررسی همه عوامل موثر بر عملکرد و مراحل فنولوژی مورد استفاده قرار گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های DSSAT (Jones *et al.*, 2003)، AquaCrop (Steduto *et al.*, 2009)، APSIM (McCown *et al.*, 1995) و WOFOST (Keating *et al.*, 2003) اشاره نمود. این مدل‌ها، با استفاده از داده‌های اقلیمی، نوع خاک، نوع ارقام و

کشاورزی به‌عنوان جزء لاینفک امنیت غذایی مطرح می‌باشد. در مناطق خشک و معتدل که بارش‌های بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر در سال دارند کشت دیم به‌خصوص گندم رایج است. با توجه به وجود روند و تغییرات متغیرهای اقلیمی می‌توان گفت بخش کشاورزی و به خصوص دیم که وابستگی زیادی به عوامل اقلیمی به خصوص بارش، هم از لحاظ مقدار و هم پراکنش زمانی، دارد از این امر تأثیر زیادی می‌پذیرد (Soleymani Nanadegani *et al.*, 2011؛ Alexandrov & Hoogenboom, 2000؛ Ray *et al.*, 2015؛ Bannayan *et al.*, 2011). آسیب‌پذیری تولید گندم به عنوان نیاز اولیه تغذیه چند میلیارد انسان به تغییرات اقلیمی در مطالعات متعددی بررسی شده است (Fischer *et al.*, 2007؛ Anwar *et al.*, 2007؛ Fischer *et al.*, 2002). گرمایش جهانی موجب تغییر مقادیر دما و بارش شده

افزایش بارش طول دوره رشد گندم نیز افزایش خواهد یافت. *Shakiba et al.* (2015) نشان دادند در دوره اقلیمی ۲۰۵۰-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۲۰۰۹-۱۹۵۱ در سناریوهای مجموع A۲ و B۲ با افزایش CO<sub>2</sub> به تنهایی به میزان ۷۰۰ و ۵۲۵ قسمت در میلیون و بدون فرض نمودن نوسانات دما، افزایش ۲۸ و ۱۳ درصدی عملکرد رخ خواهد داد ولی در سناریوی دخیل نمودن افزایش دما به میزان ۴ و ۲ درجه سلسیوس کاهش ۱۰ و ۱۲ درصدی عملکرد گندم رخ خواهد داد. *Rahmani et al.* (2015) در شبیه‌سازی نیاز آب و عملکرد گندم و جو با مدل زیرمقیاس-نمایی LarsWG و مدل زراعی DSSAT در منطقه بیرجند پی بردند نیاز آبی گندم و جو در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ به ترتیب ۱۹/۵ و ۲۲/۵ درصد کاهش خواهد داشت؛ و عملکرد گندم دیم کاهش ۳۰ درصدی خواهد داشت. *Akhavan et al.* (2017) در استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که در اقلیم آبی دمای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره پایه افزایش ۱/۸ درجه سلسیوسی، کاهش بارش ۲/۲ تا ۷/۸ درصدی و کاهش طول دوره رشد ۱۲ تا ۱۳ روز رخ خواهد داد. به طور کلی برآیند مطالعات انجام شده، تغییرات افزایشی *(Eyni Nargeseh et al., 2015)* یا کاهش عملکرد و طول دوره رشد را نشان داده است که این تغییرات بسته به منطقه مورد مطالعه و همچنین نوع محصول متغیر بوده است. در شمال شرق ایران *Farajzadeh Asl et al.* (2009) مشخص نمودند که مقدار بارش و میزان دمای دوره سرد سال در تعیین میزان عملکرد گندم دیم در منطقه بیشترین تاثیر را دارد. در منطقه آذربایجان شرقی *Kamali et al.* (2008) پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم را مورد بررسی قرار دادند و مشخص نمودند که بخش شمالی این منطقه پتانسیل کشت دیم بالاتری از سایر مناطق استان دارد. در استان زنجان *Kamali et al.* (2010) اطللس کشت گندم دیم را تهیه نمودند و نشان دادند که مناسب‌ترین مناطق کشت گندم دیم در قسمت‌های شمال و مرکز خدابنده و قسمت شرقی ایجرود بوده و متوسط عملکرد به دست آمده نسبت به تولید واقعی ۳۰ درصد افزایش داشته است. در استان مازندران *Soleymani Nanadegani et al.* (2011) تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد گندم دیم را مطالعه کردند و گزارش نمودند که تا دوره ۲۱۰۰ بارندگی‌ها در فصل پاییز افزایشی و در فصل‌های زمستان و بهار کاهش خواهد بود، در حالی که دما در تمام ماه‌های سال افزایش ۱-۲ درجه سلسیوس تجربه خواهد کرد. در نتیجه به ازای یک تاریخ کشت مشخص، کمبود عملکرد نسبی در آینده نسبت به دوره پایه تغییر چشمگیری نخواهد داشت؛ اما با جابجایی تاریخ کاشت به سمت فصل زمستان به دلیل افزایش تبخیر-تعرق و استفاده کمتر از باران موثر، عملکرد

مدیریت‌های زراعی مختلف، رشدونمو و عملکرد گیاهان زراعی را پیش‌بینی می‌کنند. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان اثرات تغییر اقلیم را بر تولیدات کشاورزی از طریق مدیریت‌های زراعی بررسی نمود (*Semenov, 2009*).

مطالعات متعدد در جهان و ایران کارایی این مدل‌ها را در مدل‌سازی و شبیه‌سازی متغیرهای مختلف زراعی با کاربری‌های متنوع نشان داده است (*Mkhabela and Andarzian et al., 2011*)؛ *Bullock, 2012*؛ *Tavakoli et al., Xiangxiang et al., 2013*؛ *Delghandi et al., 2014*؛ *Mahru Kashani et al., 2010*؛ *Amiri et al., 2016*؛ *Jameison et al., 1998*؛ *Dettori et al., 2011*؛ *Johnen et al., 2012*؛ *Andarzian et al., 2015*؛ *Mavromatis, 2016*؛ *Helali, 2018*). دو مدل DSSAT و AquaCrop از مهمترین مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس محصولات زراعی هستند.

مطالعه انجام شده در چین کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس گندم زمستانه را اثبات نموده است (*Zhang et al., 2013*؛ *Iqbal et al., 2014*) و در ایران نیز مطالعات انجام شده کارایی مدل DSSAT و AquaCrop را نشان داده است (*Andarzian et al., Eyshi Rezaei and Bannayan, 2012*)؛ *Khalili et al., 2014*؛ *Andarzian et al., 2011*؛ *Rahmani et al., 2016*؛ *Helali, 2018*).

در تعدادی از مطالعات تاثیر تغییرات اقلیمی در آینده با استفاده از این مدل‌ها بررسی شده است. به‌عنوان نمونه *Koocheki et al.* (2003) نشان داده‌اند که تاثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن، بدون در نظر گرفتن گرمایش جهانی بر عملکرد گندم مثبت است در حالی که با افزایش میانگین دمای روزانه به میزان ۳ درجه یا بیشتر، عملکرد گندم حتی در صورت افزایش غلظت دی اکسیدکربن کاهش خواهد یافت. *Nassiri et al.* (2006) با استفاده از مدل WOFOST در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۸ به‌عنوان دوره پایه اقدام به بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم دیم دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۵ در نیمه غربی و شمال غربی ایران نمودند. نتایج این مطالعه کاهش ۱۷/۷-۸/۳ درصدی بارش و کاهش ۳۶-۸ روز دوره رشد گندم و کاهش کشت ۴۰-۱۵ درصدی گندم دیم را نشان داد که استفاده از ارقام اصلاح شده و تغییر عملیات کشاورزی جهت سازگاری با این تغییرات اقلیمی را می‌طلبد. *Koocheki and Nassiri* (2008) پی بردند عملکرد گندم در ایران تا سال ۲۰۵۰ بین ۱۴ تا ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت در حالی که *Eyshi Rezaei and Bannayan* (2012) در شمال شرق ایران نشان دادند در شرایط تغییر اقلیم بین عملکرد دانه و بارش ارتباط مثبت و معنادار وجود دارد و از سوی دیگر با

منطقه Mohamadi (2005) تقویم مناسب کشت گندم دیم در استان ایلام را با استفاده از شاخص شروع بارندگی بررسی نموده و بهترین زمان تاریخ کشت را دهه دوم آبان به دست آورده است ولی در مناطق مختلف ایلام این تاریخ متفاوت خواهد بود. در استان کرمانشاه نیز مطالعه Talliee and Bahramy (2003) بر تاثیر بارندگی و درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم متمرکز بوده و مشخص شده است در وهله اول تاثیر بارش بیشتر از دما است و در وهله دوم تاثیر آن در اواخر رشد بیشتر از اوایل رشد خواهد بود. بنابراین بارش بهاره یا آبیاری تکمیلی بهاره می‌تواند موجب افزایش عملکرد گردند.

یافته‌های Mohamadi et al. (2014) در کرمانشاه نشان می‌دهد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۳ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ طول دوره رشد ۲۵ روز کوتاه‌تر شده و دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم دیم بین ۹ تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت. در بخش غربی ایران Helali (2018) نشان داد کارایی برآورد عملکرد گندم دیم توسط مدل DSSAT بهتر از مدل WOFOST بوده است و از طرف دیگر عوامل دورپیوندی را با کمک مدل‌های هوشمند و رهیافت ترکیب مدل‌ها می‌توان به عنوان پیش‌بینی‌کننده عملکرد دیم مورد استفاده قرار داد.

با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان بیان کرد نیمه غربی ایران پتانسیل عملکرد گندم دیم مناسبی داشته و تاثیر تغییرات اقلیمی بر مدیریت عملکرد آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعات پیشین عمدتاً بر عملکرد متمرکز شده و تاثیر تغییرات اقلیمی را بر طول دوره رشد و مراحل فنولوژیکی مورد بررسی قرار نداده‌اند. به این منظور در این مطالعه تلاش گردید تاثیر نوع مدل ریزمقیاس‌نمایی، نوع مدل زراعی و نوع سناریوهای اقلیمی بر پایه سناریوی RCP در دوره ۳۰ ساله بر عملکرد و طول دوره فنولوژیکی و طول دوره رشد مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در غرب ایران قرار دارد. مشخصات ایستگاه-های مورد مطالعه در شکل (۱) و جدول (۱) ارائه شده است. به منظور شبیه‌سازی طول دوره اقلیمی آینده از دو مدل LarsWG و SDSM استفاده شد. دوره پایه برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی ۱۹۸۷-۲۰۱۹ بوده است و دوره آتی نیز ۲۰۲۰-۲۰۴۹ می‌باشد.

#### شبیه‌سازی عملکرد و دوره رشد

به منظور شبیه‌سازی عملکرد از دو مدل AquaCrop نسخه ۶,۱ و DSSAT نسخه ۴,۷ استفاده شد.

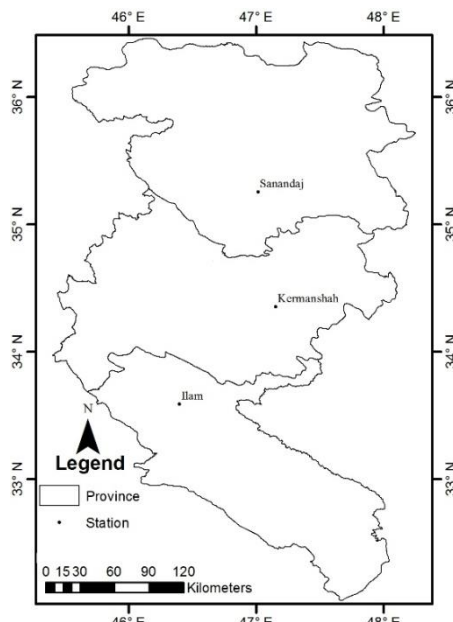
افزایش خواهد یافت. مطالعه Nouri et al. (2017) مشخص کرده است شاخص‌های دورپیوندی می‌توانند به عنوان متغیرهای موثر بر عملکرد گندم دیم شمال غرب ایران باشند، به طوری که در فاز لانینا افزایش جزئی و در فاز النینو کاهش معنادار عملکرد نسبت به فاز خنثی قابل انتظار است.

در مطالعه Nouri et al. (2017) تغییر تاریخ کشت گندم دیم در منطقه شمال غرب ایران به عنوان یک استراتژی زراعی عملیاتی در مقابل تغییرات اقلیمی در دوره ۲۰۷۲-۲۱۰۰ مطرح شده و مشخص گردید در تاریخ‌های رایج کنونی عملکرد، نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق و شاخص سطح برگ به دلیل کمبود بارش در اکتبر-نوامبر-دسامبر و ژانویه-فوریه-مارس در همه مناطق مورد مطالعه کاهش دارد، بر خلاف کاشت زودرس، به تعویق انداختن تاریخ کاشت از زمان فعلی به بهترین تاریخ به عنوان یک جایگزین سازگار، میزان بارندگی دریافت شده را در دو مرحله رشد اولیه یعنی جوانه‌زنی به شروع سنبله و سنبله به رشد سنبلك افزایش می‌دهد.

Kamali and Bazigar (2008) بر این عقیده هستند که در استان کردستان بین ۸۰ تا ۹۰ درصد تغییرات عملکرد گندم دیم ناشی از تغییرات پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی می‌باشد. در استان کردستان Farajzadeh Asl et al. (2011) به شناسایی و تحلیل پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی موثر بر مراحل مختلف فنولوژی گندم دیم در استان کردستان پرداختند. نتایج به دست آمده مشخص نمود که در هر مرحله فنولوژیکی عامل اقلیمی مشخصی بر رشد گندم موثر بوده و در برخی مراحل هیچکدام از عوامل اقلیمی موثر نبوده‌اند. این مسئله نشان داد گیاه، عناصر اقلیمی مورد نیاز برای رشد را از دوره های فنولوژیکی قبل کسب کرده و در این مرحله به رشد خود ادامه می‌دهد. به عقیده Ahmadali et al. (2015) تاریخ کشت گندم دیم در مناطق مختلف کردستان با احتمال ۵۰ درصد در سه تعریف متفاوت به ترتیب ۲۶ مهر تا ۵ آبان، ۴ تا ۲۰ آبان، ۷ تا ۲۰ آبان و با احتمال ۷۵ درصد نیز به ترتیب ۸ تا ۱۷ آبان، ۱۴ آبان تا ۷ آذر و ۱۹ آبان تا ۷ آذر خواهد بود. در استان ایلام مطالعه Azizi and Safarkhani (2002) بر تاثیر خشکسالی بر عملکرد گندم دیم متمرکز بوده و نشان داده است که تاثیر آن در فصل بهار بیشتر از دو فصل زمستان و پاییز می‌باشد. بنابراین خشکسالی بهاره تاثیر بیشتری بر کاهش عملکرد گندم دیم دارد چرا که مصادف با مراحل زایشی بوده و توان پر شدن دانه در نتیجه کاهش بارش و خشکسالی کاهش خواهد یافت. در همین

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه و طول دوره آماری پایه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری
۱	کرمانشاه	۴۷°۱۵'	۳۴°۳۵'	۱۳۱۸/۸	۲۰۱۹-۱۹۸۷
۲	سنندج	۴۷°۰۱'	۳۵°۲۵'	۱۳۷۴/۴	۲۰۱۹-۱۹۸۷
۳	ایلام	۴۶°۴۰'	۳۳°۵۹'	۱۳۳۷	۲۰۱۹-۱۹۸۷



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

#### مدل AquaCrop

مدل AquaCrop ابزاری قدرتمند برای بهبود مدیریت آب در مزرعه و محاسبه بهره‌وری آب است. سادگی، نیاز به کمینه داده ورودی و دقت قابل قبول مدل از مزایای آن می‌باشد. این مدل نسبت به مدل‌های شبیه‌ساز دیگر، پارامترها و داده‌های ورودی کمتری جهت شبیه‌سازی واکنش گیاه به آب نیاز دارد و برای اغلب محصولات گیاهی و زراعی اصلی در سرتاسر جهان قابل استفاده است (Steduto et al., 2009). در این مدل برای محاسبه بیوماس ابتدا تبخیر و تعرق پایه برای منطقه محاسبه می‌شود. تبخیر و تعرق پایه با استفاده از ماشین حساب تبخیر و تعرق پایه که توسط فائو معرفی شده است، محاسبه می‌شود (Allen et al., 1998). تبخیر و تعرق پایه با استفاده از رابطه ۱ تا ۴ و ضرایب مربوطه، به تبخیر و تعرق در گیاه مورد مطالعه، تبدیل می‌شود. سپس با استفاده از ضریب گیاه مورد نظر مقدار تبخیر خاک، از تعرق گیاه،  $T_r$ ، تفکیک می‌شود. در این رابطه  $K_s$  معرف ضریب تنش آبی گیاه و  $K_{cb}$  ضریب پایه گیاهی است که با میزان توسعه پوشش کانوپی متناسب می‌باشد. از طریق رابطه ۱، مقدار تعرق گیاه، با استفاده از کارایی مصرف آب نرمال شده مربوطه، مقدار پتانسیل ماده خشک تولیدی  $P_{potential}$ ، محاسبه می‌شود. اساس

این روش، مطالعاتی است که رابطه خطی بین کارایی مصرف آب و تولید ماده خشک را بیان کرده‌اند (Steduto et al., 2007). کارایی مصرف آب نرمال  $WP^*$  مقدار کیلوگرم بیوماس تولید شده در متر مربع برای هر میلی‌متر آبی است که در دوره شکل گیری بیوماس از گیاه تعرق شده است. کارایی مصرف آب نرمال از رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$T_r = K_s \times K_{cb} \times ET_o \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$WP^* = \sum B / (T_r / ET) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$B_{potential} = K_{sb} WP^* \sum [T_r / ET] \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$Y_{potential} = HI \times B_{potential} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه ۳،  $K_{sb}$  ضریب تنش دمایی، بین صفر و یک می‌باشد. از آنجایی که ممکن است در هوای سرد تولید بیوماس مختل شود  $K_{sb}$  به عنوان ضریب تنش دمایی در مدل در نظر گرفته شده است. در نتیجه این ضریب، بیوماس در ارتباط با دما تعدیل خواهد شد. مقدار ضریب  $K_{sb}$  از طریق یک تابع نمایی بر حسب محدوده درجه حرارت روز رشد، برای هر گیاه، توسط مدل محاسبه می‌شود. این ضریب، سطح خاصی، از درجه حرارت روز رشد را برای گیاه تضمین می‌نماید (De la Casa et al., 2013). در نهایت با استفاده از بیوماس پتانسیل و شاخص برداشت پایه

به صورت درصد بیان می‌شود. در رابطه (۴)  $P_i$  نمایانگر تخمین‌ها،  $O_i$  نشان دهنده مشاهدات،  $n$  معرف تعداد تخمین و مشاهده و  $M$  میانگین مشاهدات می‌باشد. اگر درصد این معیار بین ۰ تا ۱۰ باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰، خوب، ۲۰ تا ۳۰، قابل قبول و بیشتر از ۳۰، ضعیف خواهد بود (Jamieson et al., 1991).

$$NRMSE = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \times \frac{100}{M} \quad (\text{رابطه ۴})$$

#### مدل DSSAT

در این بررسی از مدل CERES-Wheat از مجموعه مدل‌های DSSAT نسخه 4/7 استفاده شد. این مدل قادر است تاثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و نیز تصمیمات مدیریتی مزرعه را لحاظ نماید. همچنین با استفاده از این مدل می‌توان مراحل فنولوژی، تجمع و تخصیص ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه، و تاثیر تنش‌های آب و نیتروژن را بر رشد و نمو گیاه شبیه‌سازی نمود (Jones et al., 2003). برای اجرای مدل از ۴ گروه داده استفاده می‌شود که شامل الف) موقعیت مکانی شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین دمای سالانه؛ ب) اطلاعات هواشناسی شامل داده‌های روزانه مربوط به درجه حرارت حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی، سرعت باد و بارش؛ ج) اطلاعات خاکشناسی شامل بافت و ساختمان خاک، تعداد و عمق هر یک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی ماکرو و میکرو، ظرفیت نگهداری آب خاک، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان EC و pH؛ د) عملیات زراعی: نوع رقم و تیپ آن، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطی، تراکم کاشت و نوع آبیاری، است.

جهت واسنجی و صحت‌سنجی از داده‌های الف) تاریخ‌های فنولوژیکی شامل تاریخ جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، گلدهی، شروع پرشدن دانه، رسیدگی فیزیولوژیکی و ب) شاخص‌های فیزیولوژیکی شامل شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول دوره رشد و نمو، عملکرد دانه، ماده خشک کل، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد برگ، استفاده می‌شود. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی از داده‌های مشاهداتی استفاده شده است که در ایستگاه سنج در دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۶ (۱۱ سال)، کرمانشاه در دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۲ (۱۵ سال) و ایلام در دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۴ (۱۱ سال) استفاده گردید. عمده ارقام کشت شده در این منطقه ارقام

در کنار دیگر ورودی‌های مدل میزان عملکرد پتانسیل از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. با توجه به تاثیر تنش‌های محیطی بر کاهش و یا افزایش شاخص برداشت، برای هر محصول یک شاخص برداشت پایه در شرایط عدم تنش‌های محیطی معرفی شده‌است.

#### واسنجی مدل

واسنجی عبارت از تغییر برخی پارامترهای مدل جهت انطباق قابل قبول نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده، است. به‌طور کلی نرم‌افزار مدل AquaCrop از هفت بخش اصلی تشکیل شده است. این بخش‌ها شامل، بخش اقلیم، بخش خاک، بخش آبیاری، بخش شرایط اولیه، بخش آب زیر زمینی، بخش مدیریت و بخش گیاهی به عنوان مهم‌ترین بخش تشکیل شده است. بخش گیاهی با اهمیت‌ترین بخش مدل است، زیرا بیشترین مولفه‌های مورد نیاز در واسنجی در این بخش قرار دارد. در حقیقت این بخش از مدل از دو دسته مولفه ثابت و متغیر تشکیل شده است. مولفه‌ها متغیر که امکان واسنجی دارند، شامل شاخص‌های رشد، شاخص‌های مورفولوژیکی، شاخص‌های فنولوژیکی و شاخص برداشت پایه می‌باشد. همچنین این بخش شامل تاریخ کاشت نیز می‌شود. بخش اقلیم مدل شامل داده‌های دمایی، تبخیر و تعرق پایه و بارش به صورت روزانه یا ماهانه می‌باشد. بخش خاک مدل شامل داده‌های خاک‌رخ مورد مطالعه است. در این بخش بافت خاک، محتوای آب خاک و هدایت الکتریکی خاک اهمیت دارد. مدل امکان اجرا بر اساس  $GDD^1$  و  $DAP^2$  را دارد، که در پژوهش حاضر از حالت  $GDD$  استفاده شد. در نهایت برای واسنجی مدل لازم است مطابق با شرایط موجود در منطقه در یک سال زراعی مشخص هر یک از بخش‌ها تکمیل شده و خروجی مدل برای سال‌های مختلف تعیین گردد. سپس این خروجی با مشاهدات متناظر مربوطه مورد اعتبار سنجی قرار گیرد (Steduto et al., 2007).

#### اعتبارسنجی مدل

مهم‌ترین مرحله در سنجش کارایی یک مدل، اعتبار سنجی نتایج آن مدل نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده مستقل که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند، می‌باشد. (Kobayashi and Salam, 2000). برای ارزیابی بین تخمین‌های هر محصول و مشاهدات مربوطه، از مولفه‌های آماری ضریب تبیین  $R^2$  و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده  $NRMSE^3$  استفاده می‌شود.  $RMSE$  نرمال شده همان  $RMSE$  است که با استفاده از میانگین مشاهدات

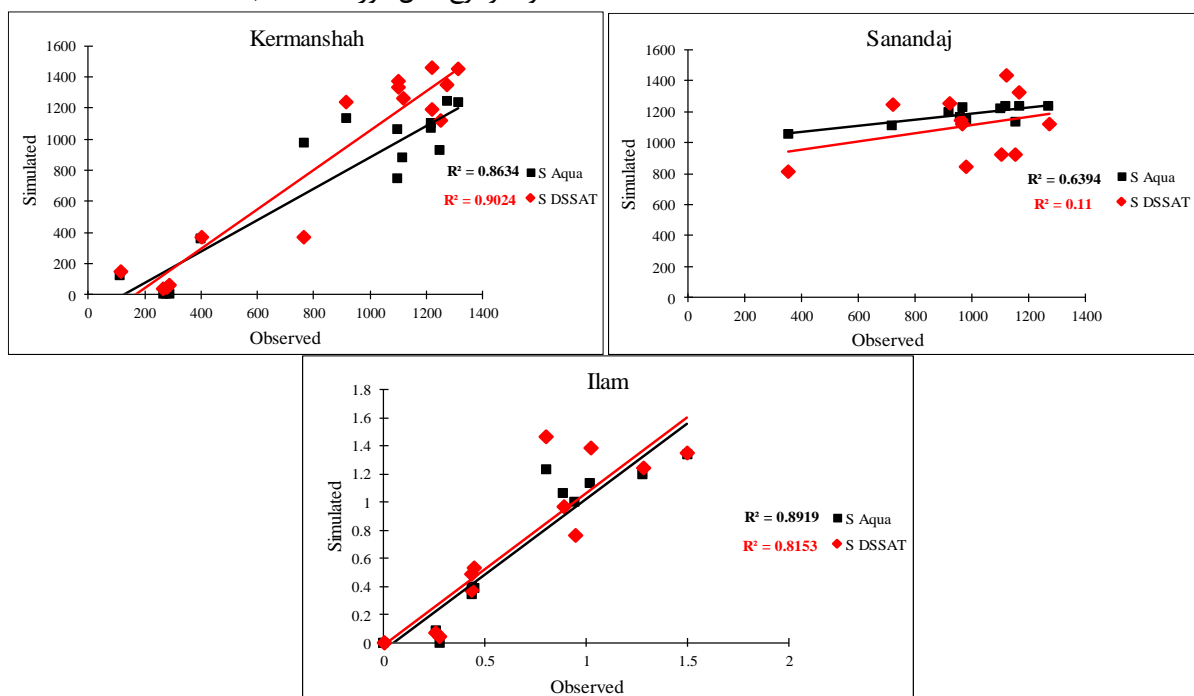
آذر ۲، سرداری و ریژاو هستند ولی رقم غالب آذر ۲ می‌باشد.

## نتایج

### بررسی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی در دوره پایه

بررسی نتایج شبیه‌سازی عملکرد در دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد مقدار ضریب تبیین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در ایستگاه کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۶۴ و ۰/۸۹ بوده در حالی که در مدل DSSAT به ترتیب ۰/۹۰، ۰/۱۱ و ۰/۸۲ می‌باشد (شکل ۲ و

جدول ۲). همچنین مقدار ضریب RMSE مدل AquaCrop در ایستگاه‌های فوق به ترتیب ۱۹۸/۶، ۲۷۴/۶ و ۱۹۲/۰ کیلوگرم در هکتار است، در حالی که در مدل DSSAT این مقدار به ترتیب ۲۳۸/۰، ۲۸۸/۱ و ۲۱۱/۹ کیلوگرم در هکتار رسیده است. بنابراین کارایی مدل AquaCrop در مقایسه با مدل DSSAT بهتر بوده است. این نتایج با مطالعه انجام شده Helali (2018) که مدل DSSAT را مدل بهتری برای مدلسازی و شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم پیشنهاد کرده است (در مقایسه با مدل WOFOST) متفاوت است. این اختلاف می‌تواند ناشی از طول دوره آماری متفاوت و نوع مدل مورد استفاده باشد.



شکل ۲- مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

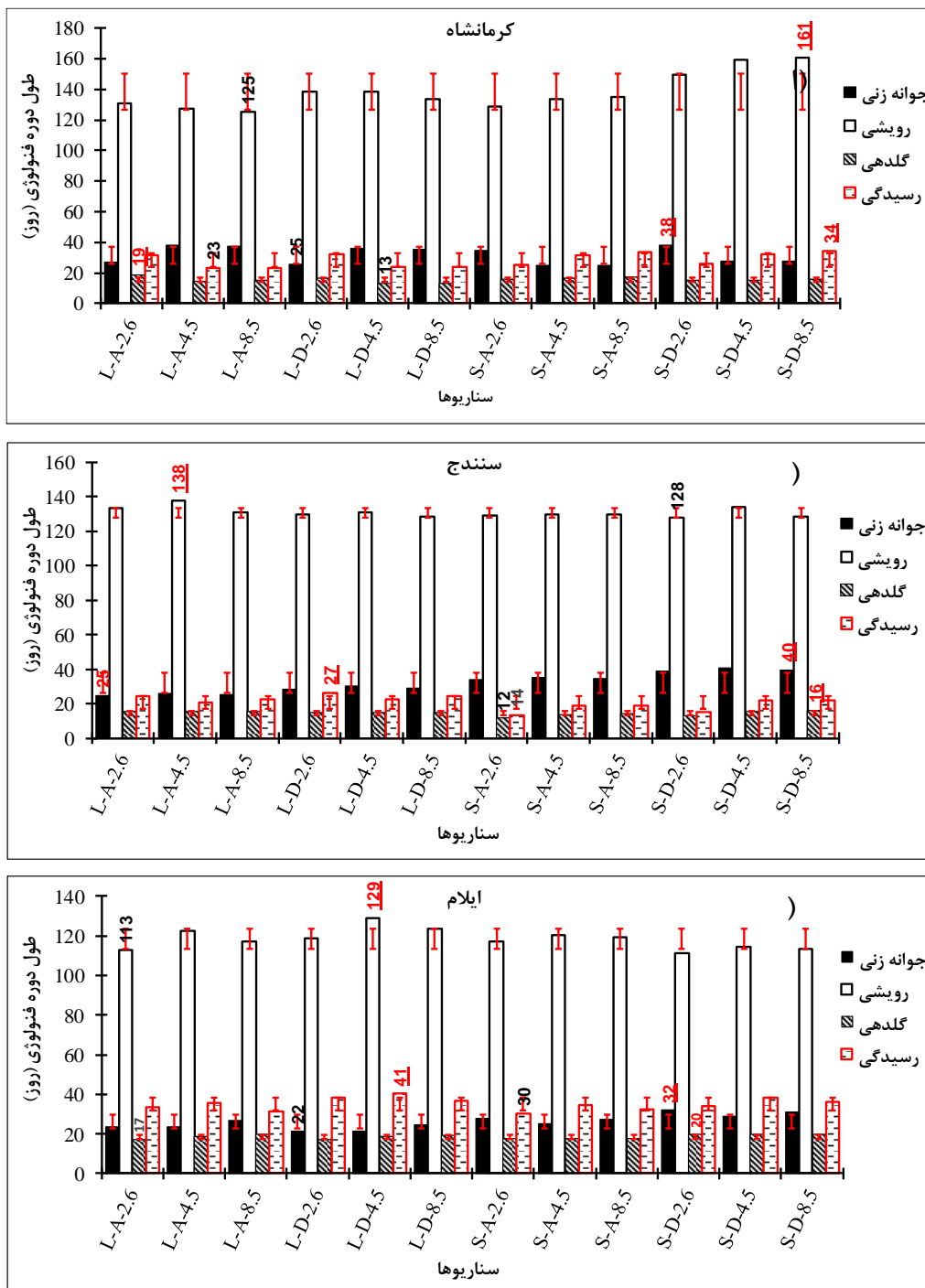
جدول ۲- مقادیر میانگین، MAE، MSE، NRMSE، RMSE و R<sup>2</sup> در دوره واسنجی و صحت‌سنجی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

ایستگاه	میانگین	DSSAT					AquaCrop					میانگین	میانگین	
		R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	MSE	MAE	میانگین	R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	MSE			MAE
کرمانشاه	۷۶۶/۳	۰/۹۰	۲۱۱/۹	۲۵/۲	۴۴/۹	۱۸۲/۷	۷۵۴/۷	۰/۸۶	۱۹۸/۶	۲۵/۹	۳۹/۴	۱۶۱/۲	۶۹۱/۹	۷۶۶/۳
سنندج	۹۹۹/۰	۰/۱۱	۲۸۸/۱	۲۹/۶	۸۳/۰	۲۵۷/۳	۱۰۹۱/۸	۰/۶۴	۲۷۴/۶	۲۷/۵	۷۵/۴	۱۹۹/۰	۱۱۸۷/۴	۹۹۹/۰
ایلام	۶۳۰/۹	۰/۸۲	۲۳۸/۰	۳۷/۴	۵۶/۷	۱۶۰/۶	۶۵۶/۳	۰/۸۹	۱۹۲/۰	۳۰/۴	۳۶/۹	۱۴۹/۱	۶۰۳/۶	۶۳۰/۹

و بیشترین طول دوره رسیدگی نیز به ترتیب L-A-8.5 (L-A-4.5) و S-D-8.5 (به ترتیب برابر با ۲۳ و ۳۴ روز) بوده است (شکل ۳ الف). در منطقه سنندج نیز حداقل و حداکثر طول دوره جوانه‌زنی در L-L-2.6 (L-A-8.5) و S-D-4.5 (به ترتیب ۲۵ و ۴۱ روز)، مرحله رویشی در S-D-8.5 و L-A-4.5 (به ترتیب ۱۲۸ و ۱۳۸ روز)، مرحله گلدهی در S-A-2.6 و S-D-8.5 (L-A-4.5) (به ترتیب ۱۲ و ۱۶ روز)، و مرحله رسیدگی S-A-2.6 و L-A-4.5 (به ترتیب ۱۴ و ۲۷ روز) می‌باشد (شکل ۳ ب).

### طول دوره فنولوژی

بررسی نتایج طول دوره جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی در شکل (۳) ارائه شده است. در منطقه کرمانشاه کمترین طول دوره جوانه‌زنی در L-D-2.6 (S-A-4.5 و S-A-8.5) و S-A-8.5 به مدت ۲۵ روز و بیشترین آن در L-A-4.5 به مدت ۳۸ روز، کمترین و بیشترین طول دوره رویشی به ترتیب در L-A-8.5 و S-D-8.5 (به ترتیب ۱۲۵ و ۱۶۱ روز)، کمترین و بیشترین طول دوره گلدهی در L-D-8.5 (L-D-4.5) و L-A-2.6 (به ترتیب ۱۳ و ۱۹ روز)، و کمترین



شکل ۳- تغییرات و انحراف از معیار مراحل فنولوژی جوانه‌زنی، رویشی، گلدهی و رسیدگی در اقلیم آینده با لحاظ دو روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS- WG، دو مدل زراعی AquaCrop و DSSAT و سه سناریوی ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ در ایستگاه‌های کرمانشاه، سندج و ایلام (LARS-WG: A؛ SDSM: S؛ AquaCrop: D؛ DSSAT)

۲.۶ و ۴.۵ L-D- (به ترتیب برابر با ۳۰ و ۴۱ روز) می‌باشد (شکل ۳ ج). با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید طول دوره فنولوژیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس نوع مدل ریزمقیاس‌نمایی، مدل زراعی و سناریوی اقلیمی متغیر است.

#### تغییرات طول دوره رشد

تحلیل نتایج طول دوره رشد در شکل (۴) ارائه شده است. نتایج

نتایج طول دوره فنولوژی در منطقه ایلام نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر طول دوره جوانه‌زنی به ترتیب در L-D-2.6 (L- S-D-2.6 و (به ترتیب ۲۲ و ۳۲ روز)، مرحله رویشی S-D-2.6 و D-4.5 (به ترتیب ۱۱۲ و ۱۲۹ روز)، مرحله گلدهی در L-D-4.5 و L-A-2.6 (L-D-2.6، L-A-8.5، S-D-2.6، S-D-4.5، S-A-2.6) (به ترتیب ۱۷ و ۲۰ روز)، و مرحله رسیدگی در S-A-



دوره رشد به ترتیب در سناریوهای ۴/۵ و ۲/۶ به وقوع خواهد پیوست. بنابراین در منطقه سنندج افزایش توام دما و دی اکسیدکربن باعث طولانی‌تر شدن دوره رشد شده (سناریوی ۴/۵)، در حالی که افزایش دی‌اکسیدکربن باعث طولانی‌تر شدن دوره رشد شده است. در منطقه ایلام مشخص شده است که حداقل و حداکثر طول دوره رشد در L-D-4.5 و L-A-2.6 بوده و به ترتیب برابر با ۱۸۷ و ۲۱۰ روز (در مدل ریزمقیاس‌نمایی Lars-WG با مدل زراعی AquaCrop و سناریوهای ۲/۶ حداقل؛ در مدل ریزمقیاس‌نمایی Lars-WG با مدل زراعی DSSAT و سناریوی ۴/۵ حداکثر) خواهد بود. به طور کلی در مدل LarsWG بیشترین طول دوره رشد در سناریوی ۲/۶ و کمترین در سناریوی ۸/۵ (به جز ایلام)؛ و در مدل SDSM بیشترین طول دوره رشد در سناریوی ۸/۵ و ۴/۵ و کمترین در سناریوی ۲/۶ خواهد بود. بنابراین بسته به مدل ریزمقیاس‌نمایی مورد استفاده طول دوره رشد به دست آمده متفاوت خواهد بود.

نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین طول دوره رشد در منطقه کرمانشاه به ترتیب در سناریوهای L-A-8.5 و L-D-8.5 بوده که مقدار آن به ترتیب ۲۰۰ و ۲۳۸ روز می‌باشد. به‌طور خلاصه، کوتاه‌ترین طول دوره رشد در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG، مدل زراعی AquaCrop با سناریوی ۸/۵ و طولانی‌ترین دوره رشد در مدل LarsWG، مدل زراعی DSSAT و سناریوی ۸/۵ بوده است. این نتایج با مطالعه Mohamadi *et al* (2014) که نشان‌دهنده کاهش طول دوره رشد در اقلیم آینده است تطابق نشان می‌دهد. در منطقه سنندج حداقل و حداکثر طول دوره رشد به ترتیب در سناریوی S-D-4.5 و S-A-2.6 به ترتیب ۱۸۸ و ۲۱۲ روز خواهد بود. بنابراین مشخص می‌شود بر مبنای مدل ریزمقیاس‌نمایی طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین دوره رشد در مدل SDSM بوده است. بر مبنای مدل زراعی نیز طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین طول دوره رشد به ترتیب متعلق به مدل DSSAT و AquaCrop بوده و در نهایت بر مبنای سناریوهای اقلیمی نیز طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین طول



شکل ۴- تغییرات طول دوره رشد در آینده با لحاظ دو روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG، دو مدل زراعی AquaCrop و DSSAT و سه سناریوی ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ در ایستگاه‌های مورد مطالعه (LARS-WG:L؛ SDSM:S؛ AquaCrop:A؛ DSSAT:D)

و ۸/۵ رخ خواهد داد در صورتی که بیشترین عملکرد به ترتیب در سناریوهای ۲/۶، ۴/۵ و ۲/۶ خواهد بود. بنابراین در خروجی مدل‌های LarWG با مدل زراعی AquaCrop بیشترین و کمترین عملکرد در سناریوی ۲/۶ و ۸/۵ خواهد بود. در سناریوهایی که صرفاً افزایش دی‌اکسیدکربن وجود دارد عملکرد بیشتر است ولی در سناریوهایی که علاوه بر افزایش دی‌اکسیدکربن افزایش دما نیز رخ می‌دهد (بدترین سناریو) عملکرد کمتر بوده است. در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG با مدل زراعی DSSAT نوسانات عملکرد در منطقه کرمانشاه بین ۵۶۳/۳ تا ۸۳۳/۷، سنندج ۳۱۵/۵ تا ۴۹۴/۸، و ایلام ۱۰۰۶/۷ تا ۱۰۵۹/۳ کیلوگرم در هکتار است به

#### عملکرد

هرچند کارایی مدل AquaCrop نسبت به مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد بهتر بوده است ولی نتایج هر دو مدل ارائه شده است تا تاثیر مدل ریزمقیاس‌نمایی، مدل زراعی و سناریوی اقلیمی بر عملکرد نیز بهتر بررسی شود (جدول ۳). در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG با مدل زراعی AquaCrop عملکرد در منطقه کرمانشاه ۵۸۰/۸ تا ۸۲۵/۷ کیلوگرم در هکتار، در سنندج ۳۰۵/۹ تا ۴۹۲/۹ کیلوگرم و در ایلام ۱۰۳۲ تا ۱۱۰۸/۹ کیلوگرم در هکتار متغیر است. با توجه به این نتایج کمترین عملکرد در کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب در سناریوی اقلیمی ۸/۵، ۴/۵

و بیشترین آن در سناریوی ۸/۵ و سپس ۴/۵ می‌باشد. مقایسات فوق با لحاظ نمودن اثر مدل ریزمقیاس‌نمایی، مدل زراعی و سناریوی اقلیمی انجام شد. نتایج کلی نشان می‌دهد در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG با مدل زراعی AquaCrop و DSSAT کمترین عملکرد در کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب در سناریوی ۸/۵، ۴/۵ و ۸/۵ و بیشترین عملکرد در سناریوی ۲/۶، ۲/۶ و ۴/۵ به دست می‌آید که نشان دهنده کاهش عملکرد در سناریوی افزایش دما و افزایش دی‌اکسیدکربن است. این در حالی است که در مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM بیشترین عملکرد گندم دیم عمدتاً در سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ بوده و کمترین عملکرد در سناریوی ۲/۶ خواهد بود که با نتایج مدل LarsWG متفاوت است. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد نوع مدل ریزمقیاس‌نمایی (در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی) و مدل زراعی (در شبیه‌سازی عملکرد و دوره‌های فنولوژیکی) می‌تواند در نتایج به دست آمده موثر باشد.

طوری که کمترین مقادیر در ایستگاه‌های فوق به ترتیب در سناریوی اقلیمی ۸/۵، ۴/۵ و ۸/۵ و بیشترین مقادیر در سناریوی ۲/۶، ۲/۶ و ۴/۵ خواهد بود. بنابراین در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG با مدل زراعی DSSAT کمترین عملکرد در سناریوی ۸/۵ و بیشترین در سناریوی ۲/۶ خواهد بود که با نتایج سایر مطالعات انجام شده تطابق نشان می‌دهد (Shakiba et al., 2015; Rahmani et al., 2015).

بر اساس نتایج به دست آمده در مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM با مدل زراعی AquaCrop مقادیر عملکرد کرمانشاه ۵۸۶/۴ تا ۱۹۹۹/۳، سنندج ۱۸۴/۱ تا ۴۶۲/۸ و ایلام ۹۰۹/۳ تا ۱۰۶۴/۸ کیلوگرم در هکتار متغیر است که کمترین مقدار عملکرد در مناطق فوق در سناریوی ۲/۶ و بیشترین عملکرد در سناریوی ۸/۵ و ۴/۵ خواهد بود. در مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM با مدل زراعی DSSAT نوسانات عملکرد کرمانشاه ۵۷۰ تا ۱۹۹۹/۹، سنندج ۲۰۹/۶ تا ۴۱۸/۰، و ایلام ۸۴۱/۵ تا ۱۰۶۲/۹ کیلوگرم در هکتار خواهد بود به طوری که کمترین عملکرد در سناریوی ۲/۶

جدول ۳- عملکرد شبیه‌سازی و مدل‌سازی شده در ترکیب‌های مختلف مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، زراعی و سناریوهای اقلیمی در سه منطقه کرمانشاه، سنندج و ایلام

مدل ریزمقیاس‌نمایی	مدل زراعی	سناریو	کرمانشاه	سنندج	ایلام
LarsWG	AquaCrop	۲/۶	۸۲۵/۷	۴۹۲/۹	۱۰۵۵/۸
		۴/۵	۵۹۰/۴	۳۰۵/۹	۱۱۰۸/۹
		۸/۵	۵۸۰/۸	۴۰۷/۵	۱۰۳۲
DSSAT	DSSAT	۲/۶	۸۳۳/۷	۴۹۴/۸	۱۰۳۰/۱
		۴/۵	۵۸۲	۳۱۵/۵	۱۰۵۹/۳
		۸/۵	۵۶۳/۳	۳۹۴/۶	۱۰۰۶/۷
SDSM	AquaCrop	۲/۶	۵۸۶/۴	۱۸۴/۱	۹۰۹/۳
		۴/۵	۱۹۹۹/۳	۴۲۲/۹	۱۰۶۴/۸
		۸/۵	۹۴۲/۳	۴۶۲/۸	۱۰۳۸
DSSAT	DSSAT	۲/۶	۵۷۰	۲۰۹/۶	۸۴۱/۵
		۴/۵	۱۹۹۹/۹	۴۱۸	۱۰۰۶/۵
		۸/۵	۹۱۳/۱	۴۸۶/۳	۱۰۶۲/۹

## بحث و نتیجه‌گیری

DSSAT نشان داد که با نتایج به دست آمده سایر مطالعات تطابق ندارد (Helali, 2018) که دلیل آن عدم یکسان بود دوره مورد مطالعه و مدل‌های زراعی مورد استفاده است. در مطالعه Helali (2018) کارایی مدل DSSAT نسبت به مدل WOFOST مورد ارزیابی قرار گرفته است که مبنای مدل‌سازی عملکرد در آن‌ها یکسان است (کارایی مصرف تابش). این نتایج نشان می‌دهد شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل‌هایی که مبنای شبیه‌سازی آن کارایی مصرف آب در خاک است (مثل مدل AquaCrop) نسبت به مدل‌هایی که کارایی مصرف تابش را به عنوان معیار شبیه‌سازی در نظر می‌گیرند بهتر می‌باشد.

بررسی عملکرد و دوره فنولوژیکی با توجه به روند افزایشی دما و دی‌اکسیدکربن در اقلیم آتی و واکنش گیاهان به خصوص گندم دیم می‌تواند از لحاظ تامین نیاز غذایی و امنیت غذایی مهم بوده و لحاظ نمودن راهکارهای سازگاری را ایجاب نماید. با توجه به تاثیر روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی و همچنین نوع مدل شبیه‌سازی عملکرد و دوره فنولوژی و سناریوهای اقلیمی آتی، تلاش شد تاثیر آن‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. بررسی عملکرد شبیه‌سازی شده در دوره پایه که به عنوان دوره واسنجی و صحت-سنجی بوده است دقت بیشتر مدل AquaCrop را در مقایسه با

بدترین سناریو اثر افزایش دما و دی اکسیدکربن باعث ایجاد تنش دمایی و کاهش عملکرد خواهد گردید که عمدتاً باید از نظر فیزیولوژی گیاهی مورد بحث قرار گیرد.

نتایج کلی نشان می‌دهد در مدل ریزمقیاس‌نمایی LarsWG با مدل زراعی AquaCrop و DSSAT کمترین عملکرد در کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب در سناریوی ۸/۵، ۴/۵ و ۸/۵ و بیشترین عملکرد در سناریوی ۲/۶، ۲/۶ و ۴/۵ به دست می‌آید که نشان دهنده کاهش عملکرد در سناریوی افزایش دما و افزایش دی‌اکسیدکربن است. این در حالی است که در مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM بیشترین عملکرد گندم دیم عمدتاً در سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ بوده و کمترین عملکرد در سناریوی ۲/۶ خواهد بود که با نتایج مدل LarsWG متفاوت است. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد نوع مدل ریزمقیاس‌نمایی (در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی) و مدل زراعی (در شبیه‌سازی عملکرد و دوره‌های فنولوژیکی) می‌تواند در نتایج به دست آمده موثر باشد.

### سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از همکاری سازمان هواشناسی کشور و مرکز آمار وزارت جهاد کشاورزی به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های اقلیمی و عملکرد گندم دیم تشکر و قدردانی می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

### REFERENCES

- Ahmadali, Kh., Hosseini Pajouh, N. and Liaghat, A. (2015). Determination of optimal planting date of rainfed wheat, in Kurdistan Province, Iran, *Applied field Crops Research*, 28(4):9-18. DOI: 10.22092/AJ.2016.106737. (In Farsi)
- Akhavan, S, Delavar, N.. and Mehnatkesh, A. (2017). Climate Change Impact on Some Factors Affecting Rainfed Wheat Growth (Case Study: Chaharmahal and Bakhtiari Province), *J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)*, 21 (2): 131-149. DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.21.2.131. (In Farsi)
- Alexandrov, V. and Hoogenboom, G. (2000). Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the southeastern USA. *Theor Appl Climatol* 67:45-63. doi:10.1007/s007040070015
- Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guideline for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO: Rome, Italy.
- Amiri, E., Bahrani, A., Khorsand, A. and Haghjoo, M. (2016). Evaluating AquaCrop Model Performance to Predict Grain Yield and Wheat Biomass, Under Water Stress, *Water and Soil Science*, 25(4/2):217-229. (In Farsi)
- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A. and Rahnama, A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran, *Agricultural Water Management* 100: 1-8
- Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M. and Andarzian, B. (2015). Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14, 189-199.
- Anwar, M.R., O'Leary, G., McNeil, D., Hossain, H., Nelson, R. (2007). Climate change impact on rainfed wheat in south-eastern Australia. *Field Crops Res.* 104, 139-147.
- Azizi, A.H. and Safarkhani, A. (2002). Drought Assessment and Its Impact on Dryland Wheat Yield in Ilam Province with Emphasis on Recent Droughts (2000-2001), *Modares Journal of Humanities*: 79-61. (In Farsi)
- Bannayan, M., Lotfabadi, S.S., Sanjani, S., Mohamadian, A. and Aghaalikhani, M. (2011). Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran. *Int J Biometeorol*, 55:387-401. doi:10.1007/s00484-010-0348-7
- Delghandi, M., Andarzian, B., Broomandnasab, S.,

بررسی طول دوره فنولوژیکی مختلف در منطقه کرمانشاه نشان می‌دهد کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره در همه سناریوها قابل مشاهده است که نوع مدل زراعی و مدل ریزمقیاس‌نمایی بر آن تاثیر گذاشته است. در منطقه سنندج کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره‌های فنولوژی به ترتیب در سناریوی ۲/۶ و ۴/۵ به وقوع پیوسته است. در منطقه ایلام نیز کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره فنولوژی به ترتیب در سناریوهای ۲/۶ و ۴/۵ بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید طول دوره فنولوژیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس نوع مدل ریزمقیاس‌نمایی، مدل زراعی و سناریوی اقلیمی متغیر است. بررسی شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم بر مبنای سناریوی اقلیمی نشان می‌دهد کمترین عملکرد در کرمانشاه، سنندج و ایلام به ترتیب در سناریوی اقلیمی ۸/۵، ۴/۵ و ۸/۵؛ و بیشترین عملکرد به ترتیب در سناریوهای ۲/۶، ۲/۶ و ۴/۵ خواهد بود. بنابراین در سناریوهایی که صرفاً افزایش دی اکسیدکربن وجود دارد عملکرد بیشتر است ولی در سناریوهایی که علاوه بر افزایش دی اکسیدکربن افزایش دما نیز رخ می‌دهد (بدترین سناریو) عملکرد کمتر بوده است که با نتایج مطالعات انجام شده تطابق نشان می‌دهد (Shakiba *et al.*, 2015). دلیل افزایش عملکرد در سناریوهایی که صرفاً افزایش دی اکسیدکربن را در نظر می‌گیرند عدم وجود تنش دمایی است (با این فرض که دما تغییر نمی‌کند) ولی در

- Massah Bovani, A. and Javaheri, E. (2014). Evaluation of DSSAT 4.5-CSM-CERES-Wheat to Simulate Growth and Development, Yield and Phenology Stages of Wheat under Water Deficit Condition (Case Study: Ahvaz Region), *Journal of Water and Soil*, 28 (1):82-91. DOI: 10.22067/JSW.V010.20658. (In Farsi)
- Dettoni, M., Cesaraccio, C., Motroni, A., Spano, D. and Duce, P., 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy, *Field Crops Research* 120:179-188.
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., & Martínez, J. (2013). AquaCrop model calibration in potato and its use to estimate yield variability under field conditions. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3, 397-407
- Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghighat, M. and Nouri, O. (2015). Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model, *EJCP*, 8(4):203-224. (In Farsi)
- Eyshi Rezaie, E. and Bannayan, M. (2012). Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. *Meteorol. Appl.* 19: 346- 354.
- Farajzadeh Asl, M., Kashki, A. and Shayan, S. (2009). Analysis of yield variability of dryland wheat crop with the approach of climate change (study area of Khorasan Razavi province), *Human Sciences MODARES*, 256-227. (In Farsi)
- Farajzadeh Asl, M., Khourani, A., Bazgir, S. And Ziaeiian, P. (2011). Identification and analysis of the effect of climatic parameters and indicators of agricultural climatology on different stages of dryland wheat Phenology in Kurdistan province, , *Human Sciences MODARES*:1-17. (In Farsi)
- Fischer, G., Shah, M. and Van Velthuizen, H., 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability. Special Report for the UN World Summit on Sustainable Development*, 26 August-4 September. International Institute for Applied Systems Analysis, Johannesburg, Laxenburg, Austria 152.
- Helali, J. (2018). Seasonal prediction of rainfed wheat yield by combining crop models and statistical methods, Phd thesis in Agrometeorology, University of Tehran, Karaj, Iran.
- Iqbal, M., Shen, Y., Stricevic, R., Pei, H., Sun, H., Amiri, E., Penas, A. and del Rio, S. (2014). Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *Agricultural Water Management* 135: 61-72.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., Goudriaan, J., Ritchie, J.T., van Keulen, H. and Stol, W. (1998). A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown, under drought, *Field Crops Research*, 55:23-44.
- Johnen, T. Boettcher, U. and Kage, H. (2012). A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model, *Computers and Electronics in Agriculture*, 89:62-69.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model, *European Journal of Agronomy*, 18 (3-4): 235-265. DOI:10.1016/S1161-0301(02)00107-7
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., Smith, C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4): 267-288. DOI:10.1016/S1161-0301(02)00108-9
- Kamali, Gh.A. and Bazigar, S., 2008. Wheat yield prediction using agro meteorological indices for some regions of the Western of the country, *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, 15(2):113-121. (In Farsi)
- Kamali, Gh.A., Mollaei, P. and Behyar, M.B. ( 2010). Development of Zanjan Province Dry Land Wheat Atlas by using Climatic Data and GIS, *Journal of Water and Soil*, 24(5):894-907. (In Farsi).
- Kamali, Gh.A., Sadaghiani Poor, A. and Sedaghat Kerdar, A. (2008). The climatic zoning of dryland wheat in Eastern Azerbaijan, *Water and Soil*, 22 (2):467-483. DOI:10.22067/JSW.V0122.1045. (In Farsi)
- Khalili, N., Davary, K., Alizadeh, A., Kafi, M. and Ansari, K. (2014). Simulation of Rainfed Wheat Yield using AquaCrop Model, Case Study: Sisab Rainfed Researches Station, Northern Khorasan, *Journal of Water and Soil*, 28(5):930-939. (In Farsi)
- Koocheki, A. and Nassiri, M. (2008). Impacts of climate change and CO2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iran. J. Field Crops Res.* 6(1): 139-153. (In Farsi).
- Kouchaki, A., Nassiri, M., Sharifi, H.R., Soltani, A.A.F., and Kamali, G.A. (2003). Simulation of changes in climatic parameters of Iran under doubles CO2 concentration using General Circulation Models, *Desert*, 8(2):179-191.
- Kobayashi, K. and Salam, M.U., 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components, *Agronomy Journal*, 92 (2): 345-352.
- McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Holtzworth, D.P. and Freebairn, D.M., 1996. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agric. Syst.* 50(3): 255-271. DOI: 10.1016/0308-521X(94)00055-V
- Mahru Kashani, A.H., Soltani, A., Galeshi, S. and

- Kalate-Arabi, M. (2010). Estimates of genetic coefficients and evaluation of model DSSAT for Golestan province, *EJCP*, 3(2):229-253.
- Mavromatis, T. (2016). Spatial resolution effects on crop yield forecasts: An application to rainfed wheat yield in north Greece with CERES-Wheat, *Agricultural Systems*, 14: 38-48
- Mkhabela, M.S. and Bullock, P.R. (2012). Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada, *Agricultural Water Management*, 110:16-24.
- Mohammadi, A. Yazdanpanah, H., and Mohammadi, F. (2014). Investigation of the occurrence of climate change and its effect on planting time and growth period of durum wheat (rainfed), Case study: Sararoud Station, Kermanshah, *Natural Geography Research*, 46: 231-246.
- Mohammadi, H. (2005). Determining the appropriate calendar for dryland wheat cultivation in Ilam province using rainfall start index, *Geographical research*, 51: 31-15. (In Farsi).
- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. and Shahandeh, H. (2006). Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52 (1): 113-124.
- Nouri, M., Homae, M. and Bannayan, M., 2017. Climate variability impacts on rainfed cereal yields in west and northwest Iran, *Int J Biometeorol*, 61:1571-1583
- Nouri, M., Homae, M., Bannayan, M. and Hoogenboom, G., 2017. Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change, *Agricultural Water Management*, 186:108-119.
- Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Ortiz Monasterio, J.R. and Reynolds, M., 2008. Climate change: Can wheat beat the heat?. *Agric. Ecosyst Environ*. 126(1):46-58.
- Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A. and Hadizadeh Azghandi, M. (2015). Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain), *Journal of Agroecology*, 7(4):443-460. (In Farsi).
- Ranuzzi, A. and Srivastava, R. (2012). Impact of Climate Change on Agriculture and Food Security. *ICRIER Policy Series*, no. 16.
- Ray, D.K., Gerber, J.S., MacDonald, G.K. and West, P.C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Commun* 6, doi: 10.1038/ncomms6989
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. and Lionello, P. (2015). Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agric. Water Manage.* 147: 103-115.
- Semenov, M.A. (2009). Impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Roy. Soc.* 6: 343-350.
- Shakiba, A.R., Shabkhiz, S. and Hashamdar, F. (2015). Possible effects of climate change on wheat crop in the state of Tehran, *Researches in Earth Sciences*, 23:53-65. (In Farsi).
- Soleymani Nanadegani, M., Parsinejad, M., Araghinejad, S. and Massah Bavani, A. (2011). Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rainfed Wheat (Case Study: Behshahr), *Journal of Water and Soil*, 25(2):389-397. DOI: 10.22067/JSW.V0I0.9485
- Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. (2007). On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 25(3), 189-207.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E. (2009). AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426-437. DOI: 10.2134/agronj2008.0139s
- Talliee, A.A. and Bahramy, N. (2003). The effects of Rainfall and Temperature on the yield of Dryland wheat in Kermanshah province, *Iranian Journal of Soil and Waters Sciences*, 17(1):106-112.
- Tavakoli, A., Liaghat, A. and Alizadeh, A. (2014). Soil Water Balance, Sowing Date and Wheat Yield Using AquaCrop Model under Rainfed and Limited Irrigation, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4):41-56.
- Van Keulen, H. and Wolf, J. (1986). Modelling of agricultural production: Weather soils and crops. *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, p. 479.
- Van Ittersum, M.K., Leelaar, P.A., Van Keulen, H., Krop, M.J., Bastiaans, L., Goudriaan, J., 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4): 201-234. DOI: 10.1016/S1161-0301(02)00106-5
- Xiangxiang, W., Quanjiu, W., Jun, F. and Qiuping, F. (2013). Evaluation of the AquaCrop model for simulating the impact of water deficits and different irrigation regimes on the biomass and yield of winter wheat grown on China's Loess Plateau, *Agricultural Water Management* 129:95-104.
- Zhang, W., Liu, W., Xue, Q., Pei, H., Chen, J. and Han, X. (2013). Evaluation of the AquaCrop model for simulating yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China. *Water Science and Technology* 68(4):821-828.