"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5

# ارزیابی کارایی مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در دیمزارهای غرب و شمال‌غرب ایران

# Evaluation of the efficiency of APSIM-Wheat model for simulation of phenology and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in drylands of west and northwest of Iran

محمد خیری[۱] و جعفر کامبوزیا[۲]

## چکیده

**خیری، م. و ج. کامبوزیا. ۱۴۰۱.** ارزیابی کارایی مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در دیمزارهای غرب و شمال‌غرب ایران. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۴ (۲): ۱۳۵ -۱۱۸.**

**مدل‌های شبیه‌سازی ابزارهای ارزشمندی هستند که عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط مختلف آب و هوایی پیش‌بینی کرده و امکان طراحی روش‌هایی برای محدود کردن آثار منفی شرایط نامطلوب محیطی را فراهم می‌کنند. شبیه‌ساز سامانه‌های تولید کشاورزی (APSIM) یک مدل گیاهی است که عملکرد طیف وسیعی از گیاهان زراعی را در پاسخ به عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی شبیه‌سازی می‌کند. در این تحقیق کارایی مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم دیم برای اولین بار در کمربند دیم ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. واسنجی و ارزیابی مدل با استفاده از اطلاعات مربوط به ۹۱ آزمایش از ۱۱ ایستگاه تحقیقاتی واقع در پنج استان غربی و شمال‌غربی ایران در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای تعداد روز تا گلدهی به ترتیب ۲۱۵ و ۲۱۸ و برای تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۲۵۲ و ۲۵۲ بودند. دقت ارزیابی‌ها با نتایج به دست‌آمده از شاخص‌های آماری تایید شد، به طوری که برای تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، مقدار جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده به‌ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۱۶ درصد، ضریب جرمی خطا ۰/۰۱۸- و ۰/۰۰۲ و ضریب هم‌خوانی ۰/۰۹۱ و ۰/۰۱۳ بودند. میانگین عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۲۲۴۵ و ۲۲۴۹ کیلوگرم در هکتار بود. مقادیر بدست آمده برای جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده (۷/۲۱ درصد)، ضریب جرمی خطا (۰/۰۰۲-) و ضریب همخوانی (۰/۰۳۷) نشان داد که مدل عملکرد کاملاً رضایت بخشی داشته و می‌توان از آن در برنامه‌ریزی برای افزایش تولید گندم دیم در ایران استفاده کرد. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که می‌توان از مدل APSIM-Wheat در تعیین بهترین شیوه‌های مدیریت مزرعه، تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد، ارزیابی اثر تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیم در مزارع گندم دیم غرب و شمال‌غرب ایران استفاده کرد.**

**واژه‌های کلیدی: رسیدگی فیزیولوژیک، گلدهی، گندم نان، مدل‌سازی گیاهی و مناطق خشک و نیمه خشک**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۱/۲۵ این مقاله مستخرج از پژوهش مستقل است

۱- دانشجوی دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: J_Kambouzia@sbu.ac.ir)



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]
[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

## مقدمه

مدل‌ها زبان ساده شده سامانه‌های طبیعی هستند که برای مطالعه سامانه‌های پیچیده واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Holzworth *et al*., 2011). کمی‌سازی رشد و نمو یک گیاه زراعی در پاسخ به شرایط محیطی در یک سامانه، مدل‌سازی نامیده می‌شود که به کاربر کمک می‌کند تا در مورد مدیریت گیاه زراعی تصمیم بهتری اتخاذ نماید (Asseng *et al*., 2015). مدل‌های زراعی دارای مزایای مختلفی هستند که انتخاب ژنوتیپ مناسب، انتخاب بهترین روش‌های مدیریتی، تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری به تغییر اقلیم را می‌توان از فواید آن‌ها بشمار آورد (Anwar *et al*., 2015; Asseng *et al*., 2015). مدل‌های گیاهی ابزارهای مناسبی برای آزمون فرضیه‌هایی هستند که مطالعه آن‌ها در سامانه‌های کشاورزی واقعی زمان‌بر بوده ممکن است سال‌ها طول بکشد (Manschadi *et al*., 2010). مدل‌های گیاهی نوع فرآیندمحور از جمله APSIM، DSSAT، CropSyst، WOFOST و SUCROS در طول دهه‌های گذشته توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها جهت افزایش کارایی مدیریت و عملکرد گیاه زراعی در بسیاری از کشورها با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Smethurst *et al*., 2017; Guilpart *et al*., 2017). با این حال، برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی بهره‌وری تولید گیاهان زراعی در یک مکان و اقلیم خاص، کارکرد این مدل‌ها باید آزمایش شود (Salo *et al*., 2016).

شبیه‌ساز سامانه‌های تولید کشاورزی (Agricultural Production Systems sIMulator; APSIM) یک مدل شبیه‌سازی محصول شناخته شده است که توسط واحد تحقیقات سامانه‌های تولید کشاورزی (Agricultural Production Systems Research Unit; APSRU) ابداع شده است (Whitbread *et al*., 2010). این مدل قادر به شبیه‌سازی عملکرد طیف وسیعی از گیاهان زراعی در پاسخ به عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی است. در این مدل وضعیت خاک در مقایسه با بسیاری از مدل‌های دیگر، نقش مهم‌تری در شبیه‌سازی گیاه زراعی دارد. در بسیاری از تحقیقات از این مدل برای شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم استفاده شده است. احمد و همکاران (Ahmed *et al*. 2016) با استفاده از مدل APSIM-Wheat، زمان گلدهی، رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه تعدادی از ارقام گندم در پاکستان را شبیه‌سازی کردند. آنها گزارش دادند که مدل، زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده و دامنه مقدار جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده برای ارقام گندم مورد مطالعه ۱/۴۶ تا ۳/۳۵ درصد برای زمان گلدهی و ۱/۱۹ تا ۳/۲۸ درصد برای زمان رسیدگی فیزیولوژیک است. که عملکرد دانه شبیه‌سازی شده از ۲/۴۱ تا ۴/۶۸ تن در هکتار متغیر و نزدیک به مقادیر مشاهده شده (۲/۳۹ الی ۴/۶۰ تن در هکتار) بوده است. در تحقیق دیگری نتایج مقادیر شبیه‌سازی‌شده فنولوژی و عملکرد دانه گندم با استفاده از مدل APSIM-Wheat مشابهت قابل قبولی با مقادیر واقعی داشت (Zhang *et al*., 2012). موهانتی و همکاران (Mohanty *et al*., 2012) از مجموعه داده‌های مستقل برای پارامتر سازی گندم رقم سوجاتا استفاده کردند. نتایج نشان داد که مجموعه داده‌های مورد استفاده برای تعیین ضرایب ژنتیکی ارقام دارای دقت بالایی بوده و مقدار به دست آمده و پیش‌بینی شده بسیار به هم نزدیک بودند. خطای پیش‌بینی تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک فقط یک روز بود. عملکرد دانه مشاهده شده گندم چهار تن در هکتار بود که در مقایسه با مقدار پیش‌بینی شده (۴/۲ تن در هکتار) قابل قبول بود. در یک آزمایش دیگر ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2012) با استفاده از این مدل، تعداد روزهای تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک برای ارقام مختلف گندم را با RMSE کمتر از ۲ برای کلیه



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

ارقام، شبیه‌سازی کردند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، در صورتی که یک مدل برای یک رقم/گیاه زراعی معین واسنجی شود، می‌توان مراحل فنولوژیک گیاه و نقش عوامل مدیریتی را در پاسخ به شرایط اقلیمی مشخص، بهینه‌سازی کرد.

تغییر اقلیم یکی از اصلی‌ترین مسائل قرن حاضر است و نقش مهمی در بخش کشاورزی دارد (Kheiri *et al.*, 2017). بر اساس آخرین گزارشات، تغییر اقلیم اثر معنی‌داری بر عملکرد گیاهان زراعی در کشورهای در حال توسعه داشته است (Kheiri *et al.*, 2021a). بر پایه گزارشات تا انتهای قرن ۲۱ میانگین دمای جهانی طبق سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه به ترتیب ۱ تا ۲ و ۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Kouchaki *et al.*, 2006). پاسخ منفی گیاهان زراعی به تغییر اقلیم، در تحقیقات مختلف گزارش شده است (Lv *et al.*, 2013)، از این رو استفاده از ابزارهای پیش‌بینی کارکرد گیاهان زراعی در شرایط مختلف اقلیمی، طراحی روش‌هایی برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم را امکان پذیر خواهد کرد (Bannayan and Hoogenboom, 2008).

ایران در کمربند خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است و کوچک‌ترین تغییر در شرایط محیطی می‌تواند عواقب جدی بر علمکرد گیاهان زراعی داشته باشد (Karimi *et al.*, 2018). میانگین بارندگی در ایران ۲۱۰ میلی‌متر و معادل یک چهارم متوسط بارندگی جهان (۸۶۰ میلی‌متر) است (Kheiri *et al.*, 2021b). تغییرات دما در ایران گاهی از ۲۰- تا ۵۰+ درجه سانتی‌گراد است. گندم مهم‌ترین گیاه زراعی در کشور بوده و حدود شش میلیون هکتار از اراضی کشور زیر کشت گندم است. دو سوم از این مقدار به کشت دیم اختصاص داشته و عملکرد محصول کاملا وابسته به مقدار نزولات آسمانی در طول دوره رشد است (Tahmasebi *et al.*, 2018). غرب و شمال‌غرب ایران قطب تولید گندم دیم بوده و حدود ۳۰ درصد از کل گندم تولیدی کشور در این مناطق صورت می‌گیرد (Anonymous, 2015). افزایش در تولید محصول گندم دیم در کشور متکی به بهینه‌سازی مدیریت مزرعه در شرایط کمبود آب و ناهمگونی بارش با استفاده از یک رویکرد جامع سیستمی است و مدل‌های زراعی نقش مهمی در این زمینه دارند. ضمن در نظر گرفتن نقش مثبت مدل‌ها در عملکرد گیاهان زراعی، مشکل اصلی در استفاده از آنها در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، کمبود دسترسی به اطلاعات تجربی عمیق برای واسنجی مدل‌ها است (Slaughter *et al.*, 2017). مدل‌های کشاورزی مکانیستیک کاملا متکی بر اطلاعات ورودی بوده و در صورت فراهم بودن اطلاعات، شبیه‌سازی مناسبی از سیستم واقعی ارائه خواهند داد. با این وجود، ارزیابی مدل در شرایطی که دسترسی به اطلاعات تجربی محدود و یا پرهزینه است، دارای اهمیت به‌سزایی است.

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی عملکرد مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم در شرایط دیم با استفاده از حداقل مجموعه داده‌ها بوده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

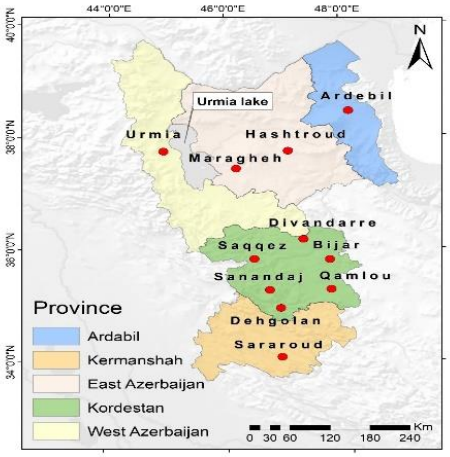
اطلاعات مورد نیاز این تحقیق از ۱۱ ایستگاه تحقیقاتی واقع در پنج استان غرب و شمال‌غرب کشور شامل اردبیل (ایستگاه اردبیل)، آذربایجان‌شرقی (ایستگاه‌های مراغه و هشترود)، کرمانشاه (ایستگاه سرارود)، کردستان (ایستگاه‌های قاملو، بیجار، دهگلان، دیواندره، سقز و سنندج) و آذربایجان‌غربی (ایستگاه ارومیه) اخذ شد (شکل ۱). این استان‌ها دربرگیرنده ۱۰ درصد از مساحت و ۵۴ درصد از کل گندم دیم تولیدی کشور هستند. کلیه این استان‌ها از نظر اقلیمی در گروه خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شوند (به جز کرمانشاه که دارای آب و هوای معتدل است) و غلات



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

محصول اصلی کشاورزی آن‌ها را تشکیل می‌دهد. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها دسترسی به اطلاعات مورد نیاز و در برداشتن دامنه گسترده‌ای از شرایط اقلیمی و شرایط خاکی بوده است (جدول ۱).




شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه: اردبیل (اردبیل)، آذربایجان‌شرقی (مراغه و هشترود)، کرمانشاه (سرارود)، کردستان (قاملو، بیجار، دهگلان، دیواندره، سقز و سنندج) و آذربایجان‌غربی (ارومیه)

Fig. 1. Geographic location of selected provinces and stations: Ardebil (Ardebil), East Azerbaijan (Maragheh and Hashtroud), Kermanshah (Sararoud), Kurdistan (Qamlou, Bijar, Dehgolan, Divandarre, Saghez and Sanandaj) and West Azerbaijan (Urmia)

**اطلاعات اقلیمی**

اطلاعات بلند مدت اقلیمی ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. این اطلاعات شامل دماهای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر) و ساعات آفتابی برای بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ بود. برای مناطقی که دارای ایستگاه هواشناسی نبودند از اطلاعات بلند مدت نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به آن‌ها استفاده شد. با توجه به اینکه در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی کشور، اطلاعات مربوط به تابش خورشیدی ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) ثبت نمی‌شود، با استفاده از معادله انگستروم-پرسکات از تعداد ساعات آفتابی برای محاسبه میزان تابش خورشیدی استفاده شد (Almorox *et al.*, 2005):

$$R_s = \left[ a + b \frac{n}{N} \right] R_a \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$R_s$: تابش جهانی، $n$: تعداد ساعات آفتابی، $N$: طول روز و $R_a$: تابش فرازمینی هستند. $a$ و $b$ مؤلفه‌های تجربی هستند که برای هر منطقه واسنجی می‌شوند. در این پژوهش مقادیر این مؤلفه‌ها از نتایج آزمایش کمالی و همکاران (Kamali *et al.*, 2006) به دست آمدند. کیفیت اطلاعات اقلیمی پیش از استفاده با استفاده از ابزار tamet که یکی از ابزار مدل APSIM می‌باشد، کنترل شدند. میانگین ماهانه عوامل اقلیمی مناطق مورد مطالعه در طول دوره مورد بررسی، در شکل ۲ نشان داده شده است.

**اطلاعات خاکی**

اطلاعات خاکی مورد نیاز برای اجرای مدل شامل بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، محتوای آب خاک در نقطه اشباع، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم، هدایت الکتریکی، اسیدیته و محتوای نیتروژن در ناحیه گسترش ریشه است. این اطلاعات از گزارش‌های نهایی پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط در وزارت جهاد کشاورزی، مراکز تحقیقات دیم و مصاحبه با



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی، اقلیمی و خاکی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Geographic, climate and soil information of the study sites

| استان‌ها Provinces | | مناطق Locations | | عرض جغرافیایی Latitude (N) | طول جغرافیایی Longitude (E) | ارتفاع Elevation (m) | Climate | اقلیم | بافت خاک Soil texture | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ardebil | اردبیل | Ardebil | اردبیل | 38°25´ | 48°30´ | 1500 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Clay | رسی |
| East Azerbaijan | آذربایجان‌شرقی | Maragheh | مراغه | 37°24´ | 46°16´ | 1477 | Cold and Arid | سرد و خشک | Clay Loam | رسی لومی |
| East Azerbaijan | آذربایجان‌شرقی | Hashtroud | هشترود | 37°29´ | 47°03´ | 1150 | Cold and Semi- arid | سرد و نیمه‌خشک | Loam | لومی |
| Kermanshah | کرمانشاه | Sararoud | سرارود | 34°18´ | 47°40´ | 1400 | Temperate and Wet | معتدل و مرطوب | Silty Clay | سیلتی رسی |
| Kurdistan | کردستان | Qamlou | قاملو | 35°15´ | 47°41´ | 1900 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Clay Loam | رسی لومی |
| Kurdistan | کردستان | Bijar | بیجار | 35°57´ | 47°52´ | 1940 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Silty Loam | سیلتی لومی |
| Kurdistan | کردستان | Dehgolan | دهگلان | 35°27´ | 47°41´ | 1900 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Loam | لومی |
| Kurdistan | کردستان | Divandarre | دیواندره | 35°54´ | 47°01´ | 1850 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Silty Clay Loam | سیلتی رسی لومی |
| Kurdistan | کردستان | Saghez | سقز | 36°24´ | 46°27´ | 1476 | Cold and Arid | سرد و خشک | Clay Loam | رسی لومی |
| Kurdistan | کردستان | Sanandaj | سنندج | 35°31´ | 46°59´ | 1538 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Loam | لومی |
| Azerbaijan West | آذربایجان‌غربی | Urmia | ارومیه | 37°52´ | 45°04´ | 1332 | Cold and Semi-arid | سرد و نیمه‌خشک | Clay | رسی |

جدول ۲- اطلاعات خاکی استفاده شده برای واسنجی مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم

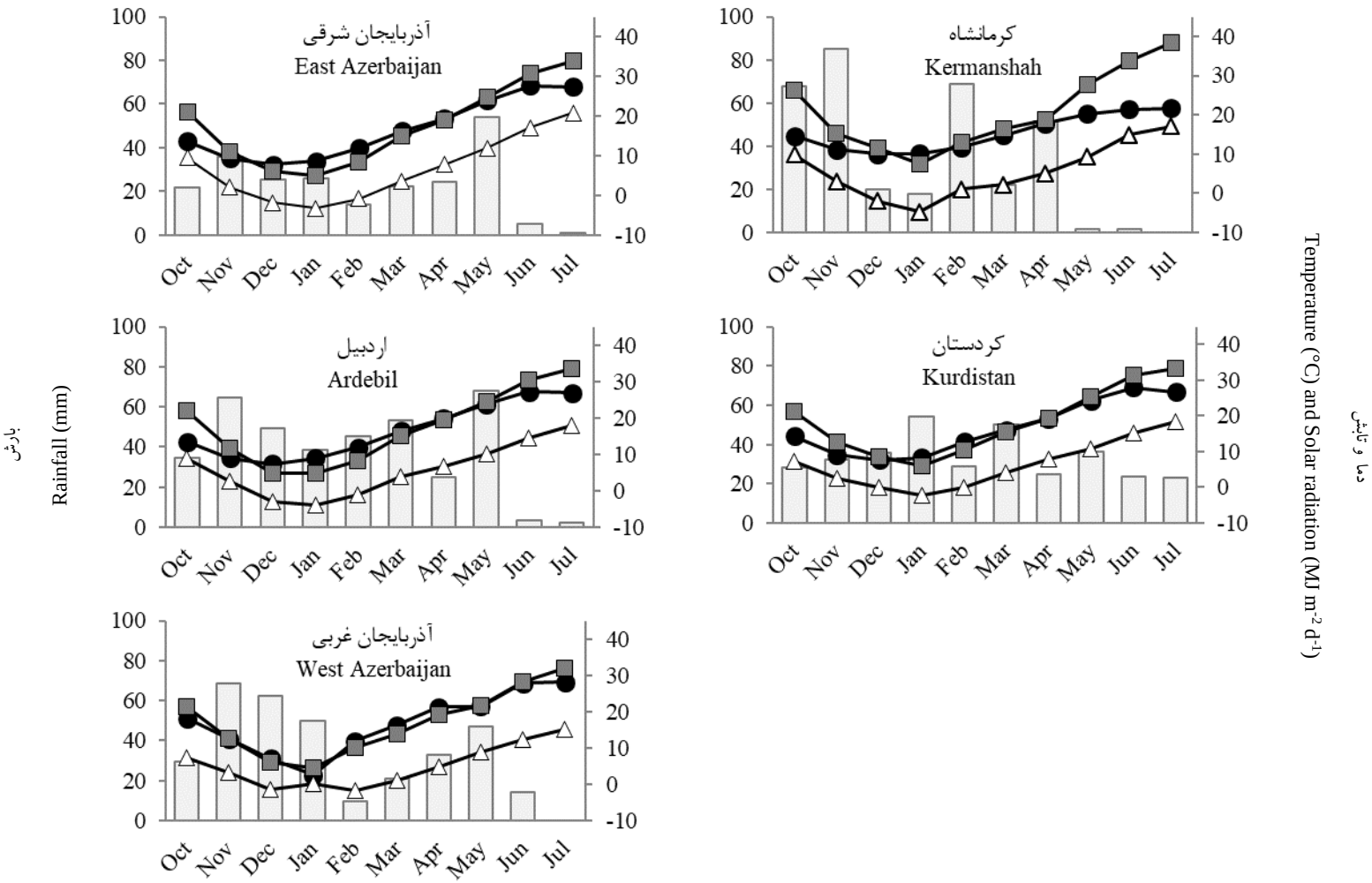
Table 2. Soil information used for APSIM-Wheat calibration for simulation of phenology and grain yield of wheat

| استان‌ها Provinces | | مناطق Locations | | نقطه پژمردگی دائم PWP (mm) | ظرفیت زراعی FC (mm) | نقطه اشباع SP (mm) | وزن مخصوص ظاهری BD ($g.cm^{-3}$) | رس Clay (%) | سیلت Silt (%) | شن Sand (%) | اسیدیته pH | شوری EC ($dS.m^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ardebil | اردبیل | Ardebil | اردبیل | 248 | 393 | 505 | 1.31 | 45 | 31 | 24 | 8 | 0.81 |
| East Azerbaijan | آذربایجان‌شرقی | Maragheh | مراغه | 201 | 347 | 477 | 1.39 | 32 | 39 | 29 | 7.45 | 0.18 |
| | | Hashtroud | هشترود | 170 | 299 | 454 | 1.45 | 26 | 30 | 44 | 7.62 | 0.27 |
| Kermanshah | کرمانشاه | Sararoud | سرارود | 262 | 407 | 504 | 1.26 | 44 | 47 | 9 | 7.8 | 0.89 |
| Kurdistan | کردستان | Ghamlou | قاملو | 271 | 364 | 486 | 1.36 | 35 | 40 | 25 | 7.9 | 0.62 |
| | | Bijar | بیجار | 137 | 310 | 476 | 1.39 | 26 | 54 | 20 | 7.69 | 0.79 |
| | | Dehgolan | دهگلان | 126 | 269 | 459 | 1.43 | 18 | 41 | 41 | 7.34 | 1.09 |
| | | Divandarre | دیواندره | 189 | 361 | 498 | 1.33 | 30 | 54 | 16 | 7.62 | 1.23 |
| | | Saghez | سقز | 190 | 349 | 485 | 1.36 | 30 | 47 | 23 | 7.48 | 0.91 |
| | | Sanandaj | سنندج | 126 | 261 | 445 | 1.45 | 21 | 34 | 45 | 8.07 | 1.09 |
| West Azerbaijan | آذربایجان‌غربی | Urmia | ارومیه | 201 | 357 | 488 | 1.35 | 32 | 46 | 22 | 7.82 | 1.68 |



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]




شکل۲- میانگین ماهانه بارش (ستون)، تابش خورشیدی (●)، دمای بیشینه (■) و دمای کمینه (Δ) در طول فصل زراعی در استان‌های مورد مطالعه (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵)

Fig. 2. Monthly average of precipitation (column), solar radiation (●), maximum temperature (■) and minimum temperature (Δ) during growing season in the study provinces (2001-2016)



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

کارشناسان خاک و کشاورزان مجرب در هر ایستگاه جمع‌آوری شد (جدول ۲). پیش از استفاده، دقت و صحت این اطلاعات توسط متخصصان مراکز تحقیقات دیم و جهاد کشاورزی هر ایستگاه بررسی و احراز شد. در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک اندازه‌گیری نشد و مؤلفه‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Soil Water Characteristics و اطلاعات بافت خاک و کربن آلی در هر مکان محاسبه شد. استفاده از نرم افزار یاد شده یک روش مرسوم برای محاسبه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است که با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های مستقل برای طیف وسیعی از بافت‌های خاک راستی‌آزمایی شده است (Saxton and Rawls, 2006).

**اطلاعات گیاهی**

رقم رایج گندم دیم در منطقه مورد مطالعه رقم سرداری است. این رقم بومی منطقه کردستان ایران بوده و به روش انتخاب توده‌ای اصلاح شده است. سطح زیرکشت این رقم در کشور بیش از ۱/۵ میلیون هکتار است (Eskandari and Roustai, 2007). سرداری یک رقم زودرس، مستعد خوابیدگی بوته، متحمل به تنش‌های سرما و خشکی با میانگین وزن هزار دانه ۳۳ تا ۳۹ گرم است (Mohsenzadeh *et al*., 2011). به‌منظور واسنجی مدل APSIM-Wheat، مجموعه‌ای از اطلاعات گیاهی شامل تاریخ گلدهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه مورد نیاز است. این متغیرهای گیاهی حداقل متغیرهایی هستند که برای واسنجی موفق مدل برای کاربردهای مدیریتی باید در دسترس باشند (Ahmed *et al*., 2016). از این‌رو اطلاعات مربوط به ۹۱ آزمایش که دارای حداقل داده‌های مورد نیاز برای واسنجی مدل بودند، مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۳). لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به فنولوژی گندم سرداری (تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) در ۵۴ آزمایش از ۹۱ آزمایش جمع‌آوری شده، ثبت شده بود. کلیه آزمایشات مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ هستند که از ۱۱ ایستگاه ذکر شده جمع‌آوری شدند. این آزمایشات طیف وسیعی از بارندگی در فصل رشد، تاریخ کاشت، میزان مصرف کود نیتروژن و تراکم بوته را شامل می‌شود که یک محیط اطلاعات مناسب برای واسنجی مدل ارائه می‌کند که در ادامه با جزئیات توضیح داده خواهد شد.

**اطلاعات مدیریتی**

APSIM-Wheat به مجموعه‌ای از داده‌های مدیریتی از جمله تاریخ کاشت، تراکم بوته، فاصله ردیف‌ها، مصرف کود نیتروژن، زمان و حجم آب آبیاری (در صورت لزوم) نیاز دارد. با توجه به اینکه آزمایش‌ها در شرایط دیم انجام شده بودند، هیچ عملیات آبیاری در آزمایش‌ها انجام نشد. با این حال، در شرایط خشکی شدید، در مناطقی که بارندگی در طول فصل بسیار کم بود، در برخی از آزمایش‌ها یک تا دو نوبت آبیاری تکمیلی برای زنده ماندن گیاهان انجام شد. کلیه داده‌های مدیریتی ذکر شده از گزارش‌های نهایی هر آزمایش و تماس با مجری اصلی هر آزمایش (در صورت لزوم) جمع آوری شد.

**واسنجی و ارزیابی مدل APSIM-Wheat**

APSIM یک بسته مدل‌سازی و شبیه‌سازی سامانه کشاورزی است که روی مدل‌های فرعی (ماژول‌های) پردازش شده توسط یک موتور مرکزی اجرا می‌شود. این مدل یک مدل در مقیاس میدانی بوده و دارای چهار ماژول اصلی شامل اقلیم، گیاه، خاک و مدیریت است. ماژول گیاهی طیف وسیعی از گیاهان زراعی، مراتع و درختان را پوشش می‌دهد. ماژول خاک مسئول شبیه سازی توابع مختلف خاک مانند تعادل آب، تبدیل نیتروژن و فسفر، اسیدیته، هدایت الکتریکی و کربن آلی است. ماژول مدیریت طیف متنوعی از گزینه‌های مدیریتی را شامل می‌شود که نشان دهنده سامانه واقعی است (Keating *et al*., 2003). مدل APSIM-wheat رشد و توسعه تاج پوشش گندم را بطور روزانه شبیه سازی



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

جدول ۳- اطلاعات آزمایشات مزرعه‌ای استفاده شده برای واسنجی مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم

Table 3. Field experiments information used for APSIM-Wheat calibration for simulation of phenology and grain yield of wheat

| استان‌ها Provinces | | مناطق Locations | | متغیرها Variables | منابع Sources | فصل کشت Cropping seasons | تعداد آزمایشات Number of experiments | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | عملکرد دانه Grain yield | فنولوژی Phenology |
| Ardebil | اردبیل | Ardebil | اردبیل | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | DARI* | 2002 to 2012, 2011 | 22 | 9 |
| East Azerbaijan | آذربایجان‌شرقی | Maragheh | مراغه | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | DARI | 2003 to 2010 | 31 | 15 |
| | | Hashtroud | هشترود | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | MJA-NWP* | 2013 to 2014 | 8 | 8 |
| Kermanshah | کرمانشاه | Sararoud | سرارود | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | DARI | 2008 to 2009 | 2 | 2 |
| Kurdistan | کردستان | Qamlou | قاملو | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | DARI | 2002 to 2010 | 22 | 14 |
| | | Bijar | بیجار | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | MJA-NWP | 2015 | 1 | 1 |
| | | Dehgolan | دهگلان | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | MJA-NWP | 2015 | 1 | 1 |
| | | Divandarre | دیواندره | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | MJA-NWP | 2015 | 1 | 1 |
| | | Saghez | سقز | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | MJA-NWP | 2015 | 1 | 1 |
| | | Sanandaj | سنندج | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | MJA-NWP | 2015 | 1 | 1 |
| West Azerbaijan | آذربایجان‌غربی | Urmia | ارومیه | فنولوژی و عملکرد دانه Phenology and grain yield | (Arjang *et al*., 2012) | 2010 | 1 | 1 |



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

می‌کند. در این ماژول رشد و نمو گندم به متغیرهای اقلیمی (تابش خورشید، دما و بارش)، محتوای آب و نیتروژن خاک و شیوه‌های مدیریت پاسخ می‌دهد. این مدل از مدل‌های CERES اقتباس شده و سپس توسط کیتینگ و همکاران (Keating *et al.*, 2001) بازنگری اساسی شده است. مراحل رشد گیاه در مدل APSIM-Wheat شامل کاشت تا جوانه زنی، جوانه زنی تا سبز شدن گیاهچه، سبز شدن گیاهچه تا انتهای سبز شدن، انتهای سبز شدن تا شروع گلدهی، شروع گلدهی تا پایان گلدهی، پایان گلدهی تا شروع پر شدن دانه، شروع پر شدن دانه تا پایان پر شدن دانه، پایان پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیک، رسیدگی فیزیولوژیک تا برداشت محصول و برداشت محصول تا مرگ گیاه است. دماهای اصلی استفاده شده در مدل به ترتیب صفر، ۲۶، ۳۴ درجه سانتی‌گراد بعنوان دمای پایه، بهینه و بیشینه هستند.

رشد و نمو گیاه در مدل APSIM-Wheat توسط مجموعه‌ای از ضرایب ژنتیکی کنترل می‌شود. این ضرایب شامل حساسیت به بهاره‌سازی (Vern_sens)، حساسیت به فتوپریود (Photop_sens)، شروع دوره پرشدن دانه تا رسیدگی (Startgf_to_mat)، وزن دانه‌ها در ساقه در شروع پر شدن دانه (Grains_per_gram_stem) و سرعت پر شدن دانه پتانسیل (Potential_grain_filling_rate) هستند. این ضرایب یا مستقیماً از طریق اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای وارد مدل شده و یا از طریق آزمون و خطا (در صورت عدم اندازه‌گیری) تخمین زده می‌شوند، به طوری که تطابق خوبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده فنولوژی و عملکرد دانه داشته باشند. در این مرحله باید از اطلاعات آزمایش‌هایی که هیچ تنش زنده و غیر زنده‌ای وجود نداشته باشد، استفاده شود. در این رابطه در این تحقیق برای برآورد ضرایب ژنتیکی شامل حساسیت به بهاره‌سازی، حساسیت به فتوپریود، شروع دوره پرشدن دانه تا رسیدگی، وزن دانه‌ها در ساقه در شروع پرشدن دانه و سرعت پر شدن دانه پتانسیل از یک آزمایش دو ساله مربوط به گندم دیم رقم سرداری که در فصول زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۱۳۸۳-۱۳۸۲ در ایستگاه قاملو ثبت شده بود، استفاده شد. این آزمایش‌ها در شرایط بارندگی بالا (به‌ترتیب ۴۶۶ و ۴۵۳ میلی‌متر) و پراکندگی همگن در طول فصل رشد انجام شد تا گندم دیم در طول دوره رشد دچار هیچ گونه تنش خشکی نشود. فراسنجه‌های ثبت شده برای این آزمایشات شامل تاریخ کاشت، تاریخ گلدهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک، تاریخ کوددهی و عملکرد دانه بودند. تاریخ کاشت و مصرف کود نیتروژن نیز در این آزمایش بهینه بودند. برای بدست آوردن بهترین برآورد از ضرایب ژنتیکی از روش آزمون و خطا استفاده شد.

ارزیابی مدل به بررسی یک مدل با مجموعه داده‌های مستقل، غیر از داده‌هایی که برای واسنجی/فراسنجی (کالیبراسیون/پارامترسازی) استفاده می‌شوند، اطلاق می‌شود تا از توانایی مدل در شبیه‌سازی شرایط واقعی و متنوع اطمینان حاصل شود. این مرحله یک مرحله مهم در استفاده از مدل است (Andarzian *et al.*, 2011). بدون در نظر گرفتن دو آزمایش مورد استفاده در مرحله واستنجی مدل، مجموعه‌ای از آزمایش‌های انجام شده در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۵ در مکان‌های مختلف (در مجموع ۸۹ آزمایش که در ۵۲ آزمایش اندازه‌گیری فنولوژی انجام شده بودند) برای ارزیابی مدل استفاده شد (جدول ۳).

در پژوهش حاضر برای اطمینان از قابلیت مدل APSIM-Wheat برای شبیه‌سازی رفتار گیاه گندم از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده شد. این شاخص‌ها شامل ضریب تبیین ($R^2$)، جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده (nRMSE)، ضریب جرمی خطا (CRM) و ضریب هم‌خوانی (D-index) هستند (Bannayan and Hoogenboom, 2009). در رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ نحوه محاسبه این شاخص‌ها ارائه



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

شده است.

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i - M_i)^2}{n}} \times \frac{100}{M}$$ (رابطه ۲)

$$CRM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i}$$ (رابطه ۳)

$$D - index = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|E_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2}$$ (رابطه ۴)

$E_i$ و $M_i$: مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده متغیر $i$؛ $n$: تعداد مشاهدات و $M$: میانگین مشاهدات برای متغیر $i$ هستند. اگر مقادیر جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده کمتر از ۱۰ باشد، نشان‌دهنده عملکرد عالی مدل بوده و اگر بین ۱۰ تا ۲۰ باشد، نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل است. اگر این مقدار بین ۲۰ تا ۳۰ باشد به معنی عملکرد متوسط مدل و اگر بزرگتر از ۳۰ باشد، نشان دهنده عملکرد ضعیف مدل است. مقدار ضریب جرمی خطا از ۱- تا ۱+ متغیر است. مقادیر مثبت و منفی این شاخص به‌ترتیب نشان دهنده تخمین پایین‌تر و بالاتر میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده از میانگین مقادیر مشاهده شده هستند. ضریب هم‌خوانی بین صفر و ۱ است و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده تطابق بهتری بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است.

## نتایج و بحث

### واسنجی و ارزیابی مدل APSIM-Wheat

واسنجی APSIM-Wheat برای گندم رقم سرداری با استفاده از اطلاعات آزمایش‌های سال‌های زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۳-۱۳۸۲ در ایستگاه قاملو انجام شد. بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۴، مدل به طور رضایت‌بخشی می‌تواند فنولوژی و عملکرد دانه را شبیه‌سازی کند و تطابق خوبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد. این مدل در سال اول تاریخ گلدهی را با دو روز اختلاف و در سال دوم بطور دقیق شبیه‌سازی کرد. در خصوص رسیدگی فیزیولوژیک نیز مدل عملکرد خوبی داشته و تاریخ این مرحله را با اختلاف پنج و دو روز (به ترتیب در سال‌های زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۳-۱۳۸۲) شبیه‌سازی کرد، بنابراین مدل فنولوژی گندم رقم سرداری را به طور قابل قبولی شبیه‌سازی کرد که این موضوع گام مهمی جهت ارزیابی صحت مدل است. بر اساس اطلاعات جدول ۴، مدل عملکرد دانه را در هر دو فصل فقط با دو درصد انحراف شبیه‌سازی کرد و این موضوع نشان می‌دهد که مدل APSIM-Wheat قادر به شبیه‌سازی رشد کلی گندم رقم سرداری است.

جدول ۴- نتایج واسنجی مدل APSIM-Wheat برای شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم با استفاده از اطلاعات آزمایش‌های ایستگاه قاملو، استان کردستان

Table 4. Results of APSIM-Wheat model calibration for simulation of phenology and grain yield of wheat using experimental data of Qamlou, Kurdistan province

| فصل زراعی Cropping seasons | بارش Rainfall (mm) | متغیر گیاهی Crop variable | | مشاهده شده Observed | شبیه‌سازی شده Simulated |
|---|---|---|---|---|---|
| 2002-03 ۸۲-۱۳۸۱ | 466 | Anthesis (DAS*) | گلدهی | 231 | 233 |
| | | Physiological maturity (DAS) | رسیدگی فیزیولوژیک | 261 | 266 |
| | | Grain yield (kg.ha$^{-1}$) | عملکرد دانه | 1807 | 1801.3 |
| 2003-04 ۸۳-۱۳۸۲ | 453 | Anthesis (DAS) | گلدهی | 229 | 229 |
| | | Physiological maturity (DAS) | رسیدگی فیزیولوژیک | 266 | 264 |
| | | Grain yield (kg.ha$^{-1}$) | عملکرد دانه | 2082 | 2121 |

* DAS: Days after sowing

DAS *: روز پس از کاشت



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

ارزیابی کارایی مدل APSIM-Wheat برای شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم رقم سرداری با استفاده از مجموعه داده‌های مستقل کاملا رضایت‌بخش بود (جدول ۵). بر اساس اطلاعات شکل ۳a، مدل تاریخ گلدهی را با اعتباری آماری بالایی در سراسر منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی کرد و نتایج شاخص‌های آماری محاسبه شده و ارائه شده در جدول ۵ صحت این موضوع را تایید می‌کند. تاریخ گلدهی مشاهده شده در محدوده ۱۱۷ تا ۲۴۹ روز پس از کاشت بود. میانگین تعداد روز تا گلدهی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده به ترتیب ۲۱۸ و ۲۱۵ روز بود (جدول ۵). مقدار جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده نیز ۰/۲۹ درصد بود. بنایان و هوگنبوم (Bannayan and Hoogenboom, 2009)، مقادیر جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده کوچک‌تر از ۱۰ درصد را نشان دهنده عملکرد عالی مدل اعلام کردند. مقدار ضریب جرمی خطا نیز نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل در رابطه با تعداد روز تا گلدهی است، اگرچه تخمین مدل کمی بیش از میانگین واقعی بود ($CRM = -0/018$). مقدار ضریب هم‌خوانی نیز تطابق بسیار خوبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده را نشان داد.

نتایج شبیه‌سازی برای رسیدگی فیزیولوژیک با نتایج تاریخ گلدهی همخوانی داشت که نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل در پیش بینی مراحل کلیدی نمو گندم رقم سرداری در سراسر منطقه مورد مطالعه بود. در شکل ۳b نشان داده شده است که APSIM-Wheat می‌تواند رسیدگی فیزیولوژیک در کلیه آزمایش‌ها را به صورت کاملاً منطقی شبیه‌سازی کند. این موضوع با نگاه به شاخص‌های آماری محاسبه شده ارائه شده در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات جدول ۵ مدل می‌تواند تاریخ دقیق رسیدگی فیزیولوژیک ۲۵۲ روز پس از کاشت را باز تولید کند. دامنه رسیدگی فیزیولوژیک مشاهده شده در آزمایش‌ها نیز می‌تواند به طور رضایت‌بخشی توسط مدل نشان داده شود. رسیدگی فیزیولوژیک واقعی بین ۱۶۹ و ۲۷۴ روز پس از کاشت متغیر بود و مدل تغییرات این متغیر را بین ۱۶۱ و ۲۷۲ روز پس از کاشت شبیه‌سازی کرد. مقادیر جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده، ضریب جرمی خطا و ضریب همخوانی برای این مرحله به‌ترتیب ۰/۱۶ درصد، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۱۳ بود که نشان‌دهنده قدرت مدل در شبیه‌سازی کل دوره رشد گندم است. سگلار و همکاران (Ceglar *et al.*, 2011) با تاکید بر تأثیر کلیدی تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک بر عملکرد گندم، بیان کرد که پیش‌بینی تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک، امکان انتخاب بهترین روش برداشت محصول را فراهم می‌کند. ماکووسکی و همکاران (Makowski *et al.*, 2006) و ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2012) نیز گزارش دادند که مدل APSIM-Wheat می‌تواند فنولوژی گندم را به خوبی شبیه‌سازی کند. در شکل ۳a و شکل ۳b نشان داده شده است که این مدل نه تنها می‌تواند تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی را در تاریخ کاشت بهینه شبیه‌سازی کند، بلکه می‌تواند این مراحل را در آزمایش‌های دیرکاشت در استان آذربایجان غربی نیز نشان دهد. توانایی بالای مدل در ثبت مراحل کلیدی رشد گیاه دستاورد خوبی است که نشان می‌دهد APSIM-Wheat مدلی قدرتمند برای شبیه‌سازی فنولوژی گندم در شرایط دیم است که گیاه عمدتاً با شرایط رشد غیربهینه مواجه است (Kheiri *et al.*, 2021c).

عملکرد دانه مهم‌ترین صفت گیاهی و موثر در تصمیم‌گیری کشاورزان و سیاست‌گذاران است و کلیه برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و علمی برای افزایش کمی و کیفی این صفت انجام می‌شود. مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده نشان داد که مدل می‌تواند عملکرد دانه را در طیف وسیعی از شرایط محیطی به خوبی شبیه‌سازی کند (شکل ۳c). این



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل APSIM-Wheat برای عملکرد دانه، روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای گندم

Table 5. Results of APSIM-Wheat evaluation for grain yield and days to anthesis and physiological maturity of wheat

| شاخص‌های آماری Statistical indices | | روز تا گلدهی Days to anthesis | | روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity | | عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مشاهده شده Observed | شبیه‌سازی شده Simulated | مشاهده شده Observed | شبیه‌سازی شده Simulated | مشاهده شده Observed | شبیه‌سازی شده Simulated |
| Mean | میانگین | 215 | 218 | 252 | 252 | 2245 | 2249 |
| Minimum | کمینه | 117 | 131 | 169 | 161 | 890 | 752 |
| Maximum | بیشینه | 249 | 239 | 274 | 272 | 3956 | 3419 |
| N | تعداد آزمایش‌ها | 52 | 52 | 52 | 52 | 89 | 89 |
| $R^2$ | ضریب تبیین | | 0.80 | | 0.88 | | 0.64 |
| nRMSE | جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده | | 0.29 | | 0.16 | | 7.21 |
| CRM | ضریب جرمی خطا | | -0.018 | | 0.002 | | -0.002 |
| D-index | ضریب همخوانی | | 0.091 | | 0.013 | | 0.037 |

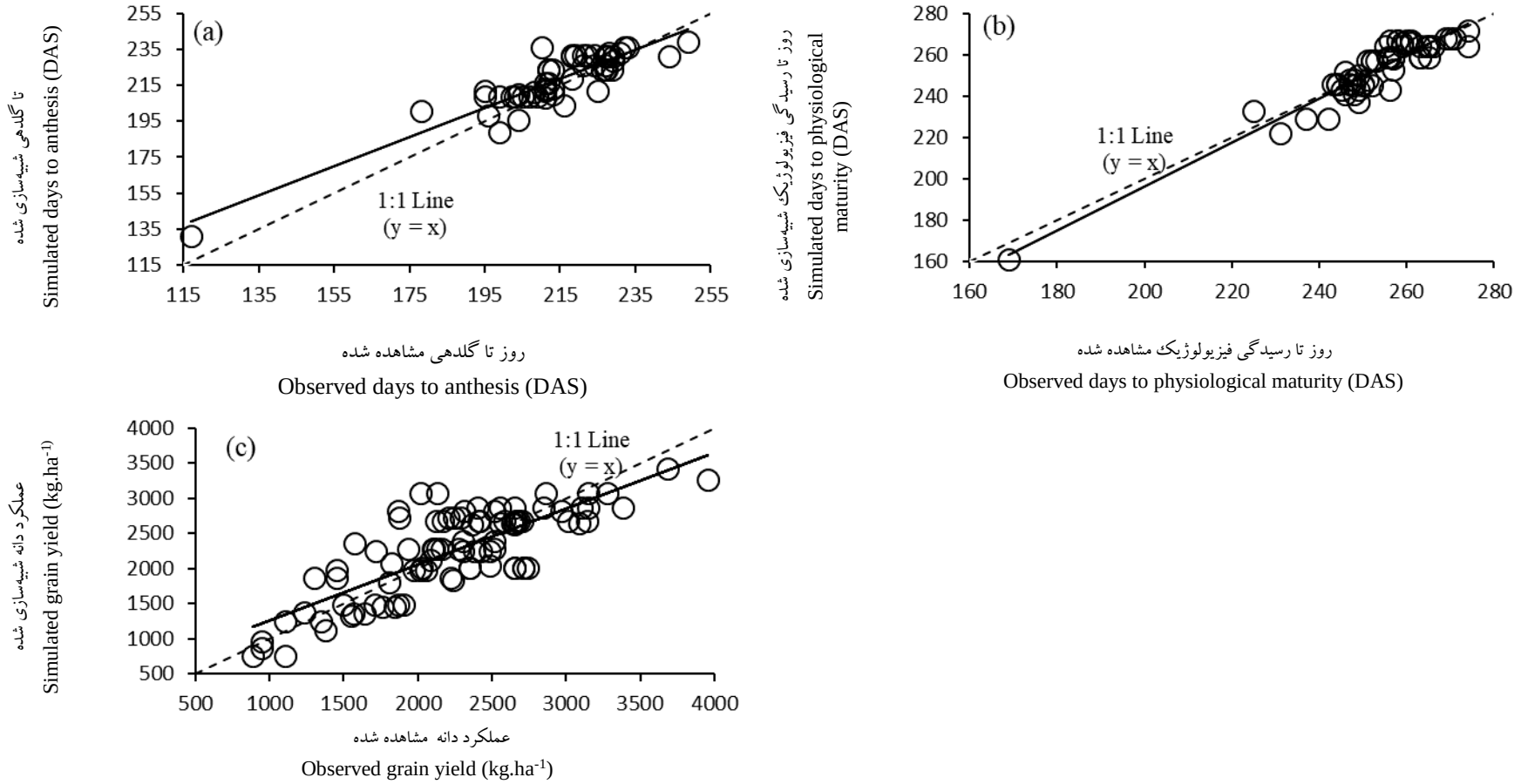
* DAS: Days after sowing

* DAS: روز پس از کاشت



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]




شکل ۳- پلات ۱:۱ مقادیر شبیه‌سازی شده در مقابل مشاهده شده برای تعداد روز تا گلدهی (a)، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (b) و عملکرد دانه (c) گندم دیم رقم سرداری

Fig. 3. 1:1 plot of simulated vs. observed values of days to anthesis (a), physiological maturity (b) and grain yield (c) of rainfed wheat cultivar Sardari



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

موضوع با نتایج تجزیه و تحلیل آماری ارائه شده در جدول ۵ تایید می‌شود. عملکرد دانه مشاهده شده بین ۸۹۰ تا ۳۹۵۶ کیلوگرم در هکتار بود، در حالی که مقادیر شبیه‌سازی شده بین ۷۵۲ تا ۳۴۱۹ کیلوگرم در هکتار بود. سه شاخص آماری جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده (۷/۲۱ درصد)، ضریب جرمی خطا (۰/۰۰۲-) و ضریب همخوانی (۰/۰۳۷) نشان می‌دهند که مدل APSIM-Wheat عملکرد کاملاً رضایت بخشی داشته و می‌تواند به عنوان یک ابزاری مطمئن در برنامه‌ریزی برای افزایش تولید گندم دیم در ایران مورد استفاده قرار گیرد. پایین بودن عملکرد دانه در استان کردستان، علیرغم دوره رشد طولانی‌تر گندم را می‌توان به توزیع نامناسب بارندگی در طول فصل رشد نسبت داد (اطلاعات نشان داده نشده است).

به‌طور کلی مدل، شبیه‌سازی بهتری از فنولوژی گیاه (تعداد روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) را در مقایسه با عملکرد دانه، ارائه کرد. با برآورد صحیح فنولوژی گیاه، مدل قادر خواهد بود تا کلیه تغییرات ژنتیکی شامل توسعه سطح برگ، تولید زیست توده و عملکرد دانه را پوشش دهد (Farré *et al.*, 2002). بعلاوه فنولوژی گیاه را می‌توان با مدیریت صحیح مانند انتخاب رقم مناسب (زودرس، متوسط رس و دیررس) تعدیل نمود که این موضوع می‌تواند به افزایش عملکرد گیاه زراعی کمک کند (Ahmed *et al.*, 2016). آزمایش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر طیفی از شرایط کم تا پربازده را پوشش می‌دهد که به تغییر در بارش در فصل و شیوه‌های مدیریت مربوط می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که مدل APSIM-Wheat تا حد زیادی می‌تواند فیزیولوژی زیربنایی رشد و نمو گیاه گندم رقم سرداری را بدون در نظر گرفتن شیوه‌های مدیریتی مختلفی که در آزمایش‌ها بوده، نشان دهد. آزمایش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر در مناطقی با اقلیم‌های مختلف و بافت‌های خاک متفاوت انجام شده است و این موضوع نشان می‌دهد که مدل می‌تواند برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد دانه گندم رقم سرداری و تعیین بهترین شیوه‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد که می‌تواند به عملکرد بالاتر دانه رقم در مناطق مورد نظر کمک کند.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل APSIM-Wheat دارای پتانسیل بالایی در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم دیم رقم سرداری است. ارزیابی مدل با استفاده از چهار شاخص آماری ضریب تبیین، جذر خطای میانگین مربعات نرمال شده، ضریب جرمی خطا و ضریب همخوانی نیز توانمندی مدل را تأیید کرد. با توجه به یافته‌های این تحقیق و طیف گسترده‌ای از شرایط اقلیمی و مدیریتی که در مطالعه حاضر وجود داشت، می‌توان قابل اعتماد بودن مدل APSIM-Wheat را برای شبیه‌سازی نمو و رشد گندم در شرایط دیم تأیید کرد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق برای سایر حوزه‌های بالقوه شامل ارزیابی خلاء عملکرد، مطالعات تأثیر تغییر اقلیم و تعیین بهترین شیوه‌های مدیریت برای افزایش عملکرد محصول نیز قابل توصیه است.

## منابع مورد استفاده

## References

**Ahmed, M., M. N. Akram, M. Asim, M. Aslam, F. Hassan, S. Higgins, O. Stockle and C.G. Hoogenboom. 2016.** Calibration and validation of APSIM-Wheat and CERES-Wheat for spring wheat under rainfed conditions: Models evaluation and application. Comp. Electronics Agric. 123: 381-204.

**Almorox, J., M. Benito and C. Hontoria. 2005.** Estimation of monthly Angström–Prescott equation



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. Renewable Energy, 30 (6): 931-936.

**Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazrae, M. E. Barati, M. A. Barati and A. Rahnama. 2011.** Validation and testing of the AcuaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agric. Water Manage. 100 (1): 1-8.

**Anonymous. 2015.** Distribution of cropping area and crop productivity in Iran. Available at: https://www.amar.maj.ir/agricultur/statistics/. Retrieved: 9 December 2017.

**Anwar, M.R., D. L. Liu, R. Farquharson, I. Macadam, A. Abadi, J. Finlayson, B. Wang and T. Ramilan. 2015.** Climate change impacts on phenology and yields of five broadacre crops at four climatologically distinct locations in Australia. Agric. Sys. 132: 133-144.

**Arjang, S., S. Dashchi, I. Bernousi and B. Abdollahi. 2012.** Evaluation of genetic diversity in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for morphological traits using multivariate statistical analysis,12th Iranian Crop Sciences Congress, 4-6 Sep., Karaj, Islamic Azad University, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract).

**Asseng, S., Y. Zhu, E. Wang and W. Zhang. 2015.** Crop modeling for climate change impact and adaptation. Second Ed., Academic Press, San Diego. USA.

**Bannayan, M. and G. Hoogenboom. 2008.** Weather analogue: a tool for real-time prediction of daily weather data realizations based on a modified k-Nearest neighbor approach. Environ. Model. Software. 23: 703-713.

**Bannayan, M. and G. Hoogenboom. 2009.** Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. Field Crops Res. 111: 290-302.

**Ceglar, A., Z. Crepinsek, L. Kajfez-Bogataj and T. Pogacar. 2011.** Simulation of phonological development in dynamic crop model: the Bayesin comparison of different methods. Agric. Forest Meteorol. 151: 101-115.

**Eskandari, E., M. Roustai. 2007.** Determination of appropriate seeding depth for bread wheat genotypes in cold dryland area of Maraghe (Iran). J. Seed. Plant. 23: 357-371. **(**In Persian with English abstract**)**

**Farré, I., M. J. Robertson, G. H. Walton and S. Asseng. 2002.** Simulating phenology and yield response of canola to sowing date in Western Australia using the APSIM model. Aust. J. Agric. Res. 53(10): 1155-1164.

**Guilpart, N., P. Grassini, V. O. Sadras, J. Timisina and K. G. Cassman. 2017.** Estimating yield gaps at the cropping system level. Field Crops Res. 206: 21-32.

**Holzworth, D. P., N. I. Huth and P. G. deVoil. 2011.** Simple software processes and tests improve the reliability and usefulness of a model. Environ. Model. Software. 26(4): 510-516.

**Karimi, V., E. Karami and M. Keshavarz. 2018.** Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. J. Integ. Agric. 17: 1-15.

**Kamali, Gh., E. Moradi and A. Khalili. 2006.** Evaluation solar radiation on tilted surface with various orientation: a study case in Karaj (Iran). Theor. Appl. Climatol. 84: 235-241.

**Keating, B. A., H. Meinke, M. E. Probert, N. I. Huth and I. Hills. 2001.** NWheat: Documentation and performance of a wheat module for APSIM. Tropic. Agric. Tech. Memorandum. Procite: 569fa894-16e2-



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

4a7f-bf21-839c56220ab7.

**Keating, B. A., P. S. Carberry, G. L. Hammer, M. E. Probert, M. J. Robertson, D. Holzworth, N. I. Huth, J. N. G. Hargreaves, H. Meinke, Z. Hochman, G. McLean, K. Verburg, V. Snow, J.P. Dimes, M. Silburn, E. Wang, S. Brown, K. L. Bristow, S. Asseng, S. Chapman, R. L. McCown, D. M. Freebairn and C. J. Smith. 2003.** An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. Europ. J. Agron. 18: 267-288.

**Kheiri, M., S. Soufizadeh, A. Ghaffari, M. AghaAlikhani and A. Eskandari. 2017.** Association between temperature and precipitation with dryland wheat yield in northwest of Iran. Clima. Change. 141(4): 703-717.

**Kheiri, M., J. Kambouzia, R. Deihimfard, S. M. Moghaddam and S. Anvari. 2021a.** Assessing the response of dryland barley yield to climate variability in semi-arid regions, Iran. J. Arid Land. 13(9): 905-917.

**Kheiri, M., J. Kambouzia, R. Deihimfard, I. Yaghoubian and S. Movahhed Moghaddam. 2021b.** Response of rainfed chickpea yield to spatio-temporal variability in climate in the northwest of Iran. Int. J. Plant Prod. 15(3): 499-510.

**Kheiri, M., S. Soufizadeh, S. M. Moghaddam and A. Ghaffari. 2021c.** Exploring the impact of weather variability on phenology, length of growing period, and yield of contrast dryland wheat cultivars. Agric. Res. 1-13. https://doi.org/10.1007/s40003-020-00523-x

**Kouchaki, A., M. Nasiri, J. Jamali and H. Marashi. 2006.** Effect of climate change on growth and yield of dryland wheat varieties Sardari using general circulation model. Iran. J. Agric. Sci. Technol. 20: 84-95.

**Lv, Z., X. Lio, W. Cao and Y. Zhu. 2013.** Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. Agric. Forest Meteorol. 171-172: 234-248.

**Makowski, D., C. Naud, M. H. Jeffroy, A. Barbttin and H. Monod. 2006.** Global sensitivity analysis for calculating the contribution of genetic parameters to the variance of crop model prediction. Reliability Engin. Sys. Safety. 91: 1142-1147.

**Manschadi, A. M., S. Soufizadeh and R. Deihimfard. 2010.** The role and importance of simulation modeling in improving crop production in Iran, The Proceedings of the 11th Iranian Crop Science Congress, 24-26 July, Shahid Beheshti University, Iran. (In Persian with English abstract).

**Mohanty, M., M. E. Probert, K. S. Reddy, R. C. Dalal, A. K. Mishra, A. S. Rao, M. Singh and N. W. Menzies. 2012.** Simulating soybean–wheat cropping system: APSIM model parameterization and validation. Agric. Ecosys. Environ. 152: 68-78.

**Mohsenzadeh, S., J. Karimi Andani and H. Mohabatkar. 2011.** Study of dehydration-responsive element binding-factor gene in some Iranian bread wheat cultivars. J. Plant Biol. 8: 69-76. **(**In Persian with English abstract**)**

**Salo, T. J., T. Palosuo, K. C. Kersebaum, C. Nendel, C. Angulo, F. Ewert, M. Bindi, P. Calanca, T. Klein, M. Moriondo, R. Ferrise, J. E. Olesen, R. H. Patil, F. Ruget, J. Takac, P. Hlavinka, M. Trnka and R. P. Rotter. 2016.** Comparing the performance of 11 crop simulation models in predicting yield response to



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

nitrogen fertilization. J. Agric. Sci. 154 (7): 1218-1240.

**Saxton, K. E. and W. J. Rawls. 2006.** Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil Sci. Soc. Am. 70: 1569-1578.

**Slaughter, A. R., D. A. Hughes, D. C. H. Retief and S. K. Mantel. 2017.** A management-oriented water quality model for data scarce catchment. Environ. Model. Software. 97: 93-111.

**Smethurst, P. J., N. I. Huth, P. Masikati, G. W. Sileshi, F. K. Akinnifesi, J. Wilson and F. Sinclair. 2017.** Accurate crop yield predictions from modeling tree-crop interactions in gliricidia-maize agroforestry. Agric. Sys. 155: 70-77.

**Tahmasebi, M., T. Feike, A. Soltani, M. Ramroudi and N. Ha. 2018.** Trade-off between productivity and environmental sustainability in irrigated vs. rainfed wheat production in Iran. J. Cleaner Prod. 174: 367–379.

**Whitbread, A. M., M. J. Robertson, P. S. Carberry and J. P. Dimes. 2010.** How farming systems simulation can aid the development of more sustainable smallholder farming systems in southern Africa. Europ. J. Agron. 32 (1): 52-58.

**Zhang, Y., L. Feng, E. Wang, J. Wang and B. Li. 2012.** Evaluation of the APSIM-Wheat model in terms of different cultivars, management regimes and environmental conditions. Can. J. Plant Sci. 92: 937-949.

[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]

# Evaluation of the efficiency of APSIM-Wheat model for simulation of phenology and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in drylands of west and northwest of Iran

**Kheiri, M.[1], and J. Kambouzia[2]**

## ABSTRACT

**Kheiri, M., and J. Kambouzia. 2022.** Evaluation of the efficiency of APSIM-Wheat model for simulation of phenology and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in drylands of west and northwest of Iran**. Iranian Journal of Crop Sciences. 24(2): 118-135. (In Persian).**

Crop simulation models are valuable tools for prediction of crop performance under various weather conditions and allow designing methods to limit the negative impacts of adverse environmental constraints. Agricultural Production Systems sIMulator (APSIM) is a comprehensive model that simulates the performance of a wide range of crops in response to climatic, soil and management factors. In this study, the performance of APSIM-Wheat model in simulating dryland wheat phenology and grain yield was evaluated for the first time in the dryland wheat belt of west and northwest of Iran. Model calibration and evaluation was performed using information of 91 experiments from 11 research field stations in five western and northwestern provinces of Iran from 2001 to 2016. Results showed that the mean observed and simulated days to flowering and physiological maturity were 215 and 218, and 252 and 252 days after sowing (DAS), respectively. These were further supported by an acceptable range of statistical indices of nRMSE (0.29 and 0.16%), CRM (-0.018 and 0.002) and D-index (0.091 and 0.013), for flowering and physiological maturity, respectively. The observed and the simulated mean grain yield were 2245 and 2249 kg.ha$^{-1}$, respectively. The values of nRMSE (7.21%), CRM (-0.002) and D-index (0.037) showed that APSIM-Wheat performed quite satisfactorily and could be considered in planning to increase dryland wheat production in west and northwest of Iran. The overall results of this study showed that the APSIM-Wheat model can be used to determine the best crop management practices, yield gap analysis, climate change impact assessment and climate change adaptation strategies in dryland wheat fields in western and northwestern of Iran.

**Key words:** Anthesis, Arid and semi-arid regions, Bread wheat, Crop modelling and Physiological maturity

**Received: December, 2021 Accepted: February, 2022**

1. PhD Student, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Associate Prof., Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding author) (Email: J_Kambouzia@sbu.ac.ir)



[ Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-05-17 ]

[ DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.2.2.5 ]