Plant Prod., 2024, 47(1), 1- 17
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.43267.2092
Received: 11 March 2023
Accepted: 15 October 2023

Plant Productions
Research Article

Evaluating APSIM-Barley model for different barley cultivars under water and nitrogen stresses

Hassan Shahbazi[1], Khosro Azizi [2*], Sajjad Rahimi-Moghaddam [3], Soleiman Mohammadi[4], Naser Akbari[5]

1. Ph.D Student of Agrotechnology, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Faculty of Agricalture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Faculty of Agricalture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Faculty of Agricalture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
4. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Ntural Research Center, AREEO, Ormia, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Faculty of Agricalture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Citation: Shahbazi, H., Azizi, KH., Rahimi-Moghaddam, S., Mohammadi, S., Akbari, N. (2024) Evaluating APSIM-Barley model for different barley cultivars under water and nitrogeen stresses. *Plant Productions*, 47(1), 1- 17

Abstract

Introduction

Background: Crop simulation models provide the possibility to study the effect of agronomic management practices on agricultural production activities in a given location. The models are mechanistic and process-oriented that are able to simulate different agricultural systems (including arid and semi-arid areas such as Iran) through different sub-models (biological, environmental, managerial, and economic sub-models) connected with the main engine of the models. The APSIM-Barley model can be used to evaluate the management practices on barley crop. The current research was carried out to evaluate the APSIM-Barley model in relation to simulating the growth, development, and yield of three barley cultivars (Azaran, Jolgeh, and Bahman) under different conditions of nitrogen and irrigation supplies.

Materials and methods

In order to evaluate the APSIM-Barley model regarding simulating and quantifying the phenological stages, biomass, and grain yield of different barley cultivars, some independent experiment datasets were used. For crop model calibration, an experiment was conducted in a factorial split plot design at the Agricultural Research Center of Hamedan in 2019. The main factor consisted of three irrigation levels (30-40, 60-70, and 90-100% of the field capacity) and

* **Corresponding Author:** Khosro Azizi
E-mail: azizi.kh@lu.ac.ir

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

sub-factors included cultivar levels (Azran, Jolgeh, and Bahman as early, mid, and late cultivars, respectively) and three nitrogen levels (zero, medium, and optimum). For model validation, another series of independent datasets in different years consisting of published articles and research projects were used. For assessing the efficiency of the crop model and comparing the simulated and measured values, R2, nRMSE, d-index, and MBE indices were used and OriginPro software was considerd for all statistical analysis and drawing of figures.

Results and Discussion

The simulation results of APSIM-Barley model in the calibration step showed that nRMSE for days to flowering and maturity was 2.43 and 2.4%, respectively. Also, under full water and nitrogen conditions, nRMSE for the leaf area index of Azaran, Jolgeh and Bahman cultivars was 13.5, 14.1, and 10.7%, respectively, and under severe water and nitrogen stresses, it was 16.5, 18.6, and 26.5% respectively. At this step, and nRMSE and d-index for biomass and grain yield were 24.9% and 0.98 and 15.2% and 0.96, respectively. In model validation step, nRMSE, d-index, R^2, MBE were 15.02%, 0.96, 0.82 and 0.34 t ha^{-1}, respectively, for grain yield.

Conclusion

In general, the results showed that the APSIM-Barley model was able to simulate the growth, development, and grain yield of different barley cultivars with acceptable accuracy under different water and nitrogen management conditions in different years and regions. Therefore, the APSIM-Barley model can be used as a reliable tool in future studies such as climate change assessment, yield gap analysis, agricultural zoning, and etc. by other researchers.

Keywords: Biomass, Days to flowering, Leaf area index, Modeling

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۳، ۴۷(۱)،۱-۱۷
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2023.43267.2092
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل APSIM-Barley برای ارقام مختلف جو آبی تحت تنش آب و نیتروژن

حسن شهبازی[۱]، خسرو عزیزی[۲]*، سجاد رحیمی مقدم[۳]، سلیمان محمدی[۴]، ناصر اکبری[۵]

۱. دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
۴- دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۵- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی امکان مطالعه تأثیر مدیریت کشاورزی بر فعالیت‌های تولیدی در محیط-های معین را مهیا می‌سازند. مدل‌ها مکانیستیک و فرآیندگرا می‌باشند که با به کارگیری زیرمدل‌های مختلف (زیرمدل‌های بیولوژیک، محیطی، مدیریتی و اقتصادی) که با موتور اصلی مدل مرتبط می‌شوند قادر به شبیه-سازی سیستم‌های کشاورزی در مناطق مختلف از جمله نواحی خشک و نیمه‌خشک مانند ایران می‌باشند. مدل APSIM-Barley می‌تواند جهت ارزیابی مدیریت در محصول جو مورد استفاده قرار گیرد. هدف این مطالعه بررسی و ارزیابی مدل APSIM-Barley در رابطه با شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد سه رقم جو آذران، جلگه و بهمن، تحت شرایط مختلف فراهمی نیتروژن و آبیاری بود. به منظور ارزیابی مدل APSIM-Barley در راستای شبیه‌سازی و کمی‌سازی مراحل رشد فنولوژیک، زیست توده و عملکرد دانه ارقام مختلف جو از یک سری آزمایش مستقل استفاده شد. به منظور واسنجی مدل زراعی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل‌تصادفی در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی واقع در شهر همدان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در طرح مذکور سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و رقم مورد بررسی قرار گرفت. فاکتور اصلی شامل سه سطح آبیاری (۴۰-۳۰، ۷۰-۶۰ و ۱۰۰-۹۰ درصد ظرفیت مزرعه) و فاکتورهای فرعی شامل سطوح رقم (آذران، جلگه و بهمن به ترتیب ارقام زودرس، متوسط‌رس و دیررس) و نیتروژن (سه سطح صفر، متوسط و بهینه) بودند. برای اعتبارسنجی و واسنجی مدل از یکسری مجموعه داده مستقل دیگر در سال های مختلف شامل مقالات چاپ شده و همچنین گزارش نهایی طرح های تحقیقاتی انجام شده استفاده شد. برای ارزیابی کارایی مدل زراعی و مقایسه مقدارهای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده از شاخص‌های آماری شامل ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، شاخص توافق و میانگین انحراف خطا استفاده شد. در این تحقیق برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار OriginPro استفاده شد. یافته های حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل-APSIM

* **نویسنده مسئول:** خسرو عزیزی
رایانامه: azizi.kh@lu.ac.ir

Barleyدر مرحله واسنجی نشان داد که مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در رابطه با پیش بینی مراحل فنولوژی گیاه (روز تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) به ترتیب برابر ۲/۴۳ و ۲/٤ درصد بود. همچنین دقت مدل برای شاخص سطح برگ برای ارقام آذران، جلگه و بهمن تحت شرایط تیمار مصرف کامل آب و نیتروژن به ترتیب ۱۳/۵، ۱٤/۱ و ۱۰/۷ درصد و تحت شرایط تیمار تنش شدید آب و نیتروژن به ترتیب ۱٦/۵، ۱۸/٦ و ۲٦/۵ درصد بود. در این مرحله مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق برای عملکرد زیست توده و دانه برابر ۲٤/۹ درصد و ۰/۹۸و ۱۵/۲ درصد و ۰/۹٦ بود. در مرحله اعتبارسنجی مدل زراعی، مقادیر شاخص های ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، شاخص توافق، ضریب تبیین و میانگین انحراف خطا به ترتیب برای عملکرد دانه ۱۵/۰۲درصد، ۰/۹٦، ۰/۸۲ و ۰/۳٤ تن در هکتار بود. به طور کلی نتایج نشان داد که مدل APSIM-Barley قادر است رشد، نمو و عملکرد دانه ارقام مختلف جو را با دقت قابل قبولی تحت شرایط مختلف مدیریت آب و نیتروژن در سال‌ها و مناطق مختلف شبیه‌سازی کند. بنابراین مدل مذکور می تواند به عنوان ابزاری قابل اعتماد در مطالعات آینده در زمینه ارزیابی تغییر اقلیم، آنالیز خلاء عملکرد، پهنه بندی و غیره مورد استفاده قرارگیرد.

کلید واژه ها: روز تا گلدهی ، زیست توده ، شاخص سطح برگ، مدل‌سازی

مقدمه

مدل‌های گیاهی رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی را به صورت بلند مدت شبیه‌سازی می‌کنند و همچنین برای بررسی پاسخ محصولات به تغییرات محیطی، ژنتیکی و روش‌های مدیریتی بسیار مناسب هستند (Rahimi-Moghaddam *et al*.,2018). این ابزارها همچنین برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای یک منطقه، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، مدیریت زراعی، پیش‌بینی اثر تنوع و تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه استفاده می‌شود (Rahimi-Moghaddam.and Eyni-Nargeseh., 2022). تحقیقات شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌های زراعی درک پاسخ گیاه به شرایط آب و هوایی و خاک و تعامل آن‌ها با روش‌های مختلف مدیریت محصول را افزایش می‌دهد (Deihimfard *et al*., 2019).

بررسی اثر مدیریت کشاورزی بر روی بهره‌وری محصولات زراعی در یک محیط با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به سادگی امکان‌پذیراست (Brisson *et al*., 2003). رهیافت مدل‌سازی تنها راه تلفیق یافته‌های تحقیقاتی حاصل از مطالعات صورت گرفته در بخش‌های مجزا از یکدیگر می باشند (Soltani *et al*., 2012). در چنین شرایطی این مدل‌ها می‌توانند به عنوان ابزارهای جدید در راستای صرفه جویی در زمان و بهبود اثربخشی و یا به حداقل رساندن هزینه مربوط به بسیاری از تحقیقات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. بدین معنا که طیف وسیعی از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی در مقیاس های منطقه‌ای و ملی می‌توانند به منظور پیش‌بینی عملکرد گیاهان مورد استفاده قرار گیرند (Amjed *et al*., 2012).

یکی از از مدل‌های فرآیندگرای رشد گیاهان زراعی مدل APSIM[1] هست. .APSIM یک مدل شبیه‌سازی فرآیندگرای گیاه زراعی است که توسط واحد تحقیقات APSRU[2] ساخته شده است. این مدل قادر است محصول اقتصادی طیف وسیعی از گیاهان زراعی، مرتعی و درختان را در پاسخ به عوامل اقلیمی خاکی و مدیریتی شبیه‌سازی نمایید. این مدل دارای یک موتور شبیه‌سازی است که ارتباط بین زیرمدل‌های‌های مختلف را جهت انجام فرایند شبیه سازی تسهیل می‌کند.

1- Agricultural Production Systems SIMulator
2- Agricultural Production Systems Research Unit

مدل APSIM- Barley رشد و نمو گیاه جو را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کنند و اثرات عوامل مدیریتی مختلف از جمله کود نیتروژن و آبیاری را بر گیاه جو با دقت بالا شبیه سازی می‌کند (Holzworth *et al*., 2014). اساس شبیه‌سازی در این مدل بر محور بودن خاک در مقایسه با گیاه زراعی استوار است، هرچند که متغیر اصلی که شبیه‌سازی می شود عملکرد گیاه زراعی می‌باشد. تغییر در متغیرهای وضعیت خاک مانند میزان آب و نیتروژن موجود در آن، به طور پیوسته و در پاسخ به عوامل آب وهوایی و مدیریتی شبیه‌سازی می‌شود. این مدل همچنین از طریق زیر مدل-های جداگانه خاک و آب روابط آبی و نیتروژن را شبیه‌سازی می‌کند. همچنین شبیه‌سازی نیتروژن در مدل مذکور شامل فرایندهای جذب، انتقال و تجمع نیتروژن در گیاه، آبشویی نیتروژن، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون و سایر فرآیندهای مرتبط با نیتروژن در خاک می‌باشد که روزانه در هر لایه خاک شبیه‌سازی می‌شوند. فرآیند جذب نیتروژن توسط گیاه نیز همانند جذب آب، بر اساس رویه عرضه و تقاضا برآورد می-شود (Wang *et al*., 2002). مدل APSIM-Barley از سه جز اصلی شامل موتور مدل، محصول زراعی، ماده آلی سطحی و خاک تشکیل شده است. زیر مدل محصول زراعی شامل ۱۱ مرحله فنولوژیکی است که به وسیله درجه حرارت تجمعی تعیین می‌شوند که خود درجه حرارت تجمعی تحت تاثیر فتوپریود، بهاره سازی، فراهمی نیتروژن و آب قرار دارد (Amjed *et al*., 2012). زیر مدل ماده آلی خاک پویایی کربن و نیتروژن را در خاک محاسبه می‌کند. ماده آلی خاک از سه ذخیره شامل ماده آلی تازه، زیست توده و هوموس تشکیل می‌شود (Ibrahim *et al*., 2019). مدل APSIMدارای ضرایب ژنتیکی است که از طریق آن-ها می‌توان رشد و نمو مختص هر رقم را شبیه‌سازی کرد. این ضرایب را می‌توان در چند گروه طبقه بندی کرد. برخی از آن‌ها نمو فنولوژیک در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (مانند زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی)، برخی مرتبط با دوره رشد رویشی گیاه هستند (مانند وزن خشک تک ساقه)، تعدادی از آن‌ها بر شبیه‌سازی فرآیند گلدهی تأثیر دارند (مانند شیب فتوپریود) و مابقی ضرایب، رشد دانه و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهند (مانند سرعت رشد دانه). برخی از این ضرایب را می‌توان به صورت مستقیم (از طریق انجام آزمایش) و برخی دیگر را به صورت غیر مستقیم (از طریق برآورد آن‌ها با کمک مدل) محاسبه کرد. در مطالعه‌ای Keshavarzmehr *et al*. (2022) به منظور پارامتریابی و ارزیابی برای مدل APSIM-Wheat برای گندم زمستانه جهت ارزیابی تغییر اقلیم بر عملکرد گزارش کردند که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و همچنین شاخص توافق در پارامتر تجمع ماده خشک در گندم پاییزه به ترتیب ۱۱/۷ و ۰/۸۸ بود. نکته قابل توجه در این بخش، تخمین دقیق نحوه تجمع ماده خشک حتی تحت شرایط تنش های آبی می‌باشد. در واقع این موضوع نشان دهنده توان بالای مدل APSIM در شبیه‌سازی پاسخ های گیاهی به شرایط کم آبی و تنش کمبود نیتروژن می‌باشد. در پژوهشی به منظور شبیه-سازی پاسخ ارقام ذرت مقاوم به خشکی به مقادیر نیتروژن در محیط‌های مختلف در ساوانای نیجریه، مدل APSIM برای دو رقم ذرت با استفاده از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای تحت شرایط بهینه در سه منطقه در طول فصل زراعی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ انجام شد، کالیبره شد. همچنین مدل مذکور با استفاده از یک مجموعه داده مستقل از یک آزمایش انجام شده تحت سطوح مختلف نیتروژن در دو مکان در دشت‌های گینه جنوبی و شمالی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مدل به طور دقیق روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و ماده خشک کل هر دو رقم را با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (به ترتیب ۶/۵، ۳/۷، ۸/۶، ۴ و ۵ درصد برای رقم EVDT2009 و ۴/۹، ۴، ۱۱/۴، ۶/۶ و درصد برای رقم

(IWDC2SYNF2) پایین شبیه‌سازی کرد (Beah *et al.*, 2021). برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، باید این مدل‌ها را تحت شرایط مختلف مدیریتی و اقلیمی مورد ارزیابی قرار داد تا میزان دقت این مدل‌ها مشخص شود. همچنین کاربرد این مدل‌ها همراه با تخمین پارامترها یا ضرایبی هست که خصوصیات هرگونه یا رقم را در مدل نشان می‌دهند با این وجود عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط محیطی مختلف، علاوه بر عوامل اقلیمی و مدیریت زراعی تحت تأثیر این ضرایب نیز می باشد (Román-Paoli *et al.*, 2000). مقادیر این ضرایب باید قبل از استفاده، از طریق آزمایش‌های مزرعه‌ای اندازه‌گیری و یا تخمین زده شوند (Makowski *et al.*,2006). Paknejad *et al.* (2017) در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت سطوح مختلف نیتروژن در شرایط اقلیمی کرج با استفاده از مدل DSSAT نشان دادند که مدل توانایی مناسبی در شبیه سازی فرایندهای رشد و نمو و عملکرد ذرت در۴ سطح نیتروژن دارد در این مطالعه ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر از ۲۰ درصد بود. در تحقیقی Rahimi-Moghaddam *et al.* (2021) گزارش کردند که میزان رطوبت خاک در طول فصل رشد گندم با دقت بالایی توسط مدل APSIM شبیه‌سازی شد، به طوری که ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده از ۵/۳ درصد تا ۱۱ درصد و مقادیر شاخص توافق از ۰/۸۶ تا ۰/۹۷ در تیمارها و فصول مختلف کشت متغیر بود. آن ها همچنین نشان دادند که مدل APSIM عملکرد دانه گندم در مرحله اعتبارسنجی را به خوبی شبیه‌سازی کرد به طوری که ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده برابر با ۳ /۱۲ درصد، میانگین انحراف خطا برابر با ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار، شاخص توافق برابر با ۰/۹۹ و مقدار ضریب تبیین برابر ۰/۸۸ بود .

غلات بیشترین سطح زیرکشت اراضی کشاورزی را در جهان دارد و به عنوان غذای اصلی میلیون‌ها نفر در جهان بوده و نقش بارزی در تغذیه دام، درآمد و اشتغال زایی مردم جهان از جمله ایران دارد (Habibi *et al.*,2020). گیاه جو (*Hordeum vulgare L.*) از قطب شمال تا عرض های جغرافیایی استوایی کشت می-شود. بنابراین، توانایی جو برای رشد در محیط های پر استرس اهمیت آن را در سال‌های آینده افزایش خواهد داد. در میان محصولات عمده، جو چهارمین غلات کشت شده است که یکی از منابع اصلی کربوهیدرات در کشورهای در حال توسعه است. این گیاه علاوه بر مصارف انسانی اهمیت ویژه‌ای در تغذیه دام دارد. روسیه بزرگترین تولید کننده جو می‌باشد (بیش از ۲۰/۹ میلیون تن) و پس از آن فرانسه، آلمان، استرالیا و کانادا قرار دارند (FAOSTAT, 2019). این گیاه در سطح کشور هم دارای سطح زیر کشت و تولید قابل توجهی می‌باشد به طوری که سطح زیر کشت جو در سال ۱۴۰۰ برابر ۱/۴ میلیون هکتار و ۲/۴ میلیون تن بوده است (Ministry of Agriculture Jahad, 2019). با توجه اهمیت مدل‌های شبیه‌سازی در مدیریت سیستم های کشاورزی و همچنین اهمیت محصول جو، پژوهش حاضر به منظور برآورد پارمترهای مربوط به برخی ارقام جو در کشور برای استفاده در مدل مکانیزم‌گرای APSIM- Barley و همچنین ارزیابی این مدل در شرایط مختلف مدیریت آب و نیتروژن انجام شد.

مواد و روش

آزمایشات مزرعه‌ای برای واسنجی و اعتبار-سنجی مدل APSIM- Barley

به منظور واسنجی و تعیین ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف یک آزمایش مزرعه‌ای به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی واقع در شهر همدان (طـول و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا۱۷۴۰ متر) در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در طرح مذکور سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و رقم

مورد بررسی قرار گرفتند. فاکتور اصلی شامل سه سطح آبیاری به صورت (۱۰۰-۹۰) درصد ظرفیت مزرعه (۷۰-۶۰) درصد ظرفیت مزرعه و (۴۰-۳۰) درصد ظرفیت مزرعه بودند. فاکتورهای فرعی شامل سه سطح رقم (رقم زودرس آذران، متوسط رس جلگه و دیررس بهمن) و سه سطح نیتروژن (سه سطح صفر، ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به عنوان متوسط و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به عنوان بهینه) بودند. تعیین نیتروژن با توجه به میزان آزمون خاک بود (جدول۱). بر این اساس، تعداد کل واحدهای آزمایشی ۸۱ واحد بود. همه ارقام مورد بررسی با تراکم یکسان (۴۰۰ بوته در متر مربع) و در تاریخ هفدهم آبان ۱۳۹۸ کاشت تمامی ارقام با فاصله ردیف ۲۵ سانتی مترانجام شد. عملیات کنترل حشرات، بیماری‌های احتمالی و علف‌های هرز به خوبی صورت گرفت به طوری که هیچ گونه آثاری از آفت زدگی، بیماری و خسارت علف هرز در مزرعه مشاهده نشد. برای اعمال تیمارهای آبیاری در ابتدا تمام مزرعه آبیاری شد تا بطور کامل از آب اشباع شود سپس یعد از ۴۸ ساعت با خروج آب ثقلی به ظرفیت مزرعه رسید و بعد از آن ۴- ۵ نقطه در هر تیمار آبیاری (۱۰۰ -۹۰)، (۶۰-۷۰) و (۳۰-۴۰) به وزن ۱/۵-۱ کیلوگرم نمونه خاک مزرعه گرفته شد و وزن شد و سپس در آون ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت جهت خشک کردن قرار گرفته شد. در ادامه پس از مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، میزان رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای رطوبتی مختلف مشخص گردید و از این مرحله به بعد، برای تعیین رژیم های آبیاری به طور روزانه رطوبت از هرکدام از تیمارها اندازه گیری و رژیم هایی که درصد وزنی رطوبت خاک به درصد مورد نظر می‌رسید آبیاری برای هر تیمار انجام می‌گرفت. به منظور اندازه‌گیری روند تغییرات شاخص سطح برگ، نمونه برداری های تخریبی در طول فصل رشد انجام شد و در هر مرحله ۵ بوته از مزرعه برداشت و شاخص سطح برگ آن‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (مدل AM350) صورت گرفت. برای ثبت مراحل فنولوژیک (سبزشدن، ظهور گل، شروع پرشدن دانه و بلوغ فیزیولوژیک) ۶ بوته در زمان سبز شدن علامت گذاری شدند و ثبت مراحل مذکور تا پایان فصل رشد بر روی آن‌ها انجام شد. همچنین برای اندازه‌گیری عملکرد و وزن خشک با رعایت حاشیه از کرت دو خط کاشت برای این موضوع اختصاص داده شد که بعد از برداشت جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر بوته ها برداشت شده در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون نگهداری و توزین گردیدند. برای واسنجی از صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، شاخص سطح برگ، زیست توده و عملکرد دانه استفاده شد و پارامترهای ویژه هر رقم که از طریق واسنجی مدل به دست آمد (شکل ۲). برای واسنجی هر رقم گیاه جو ابتدا پارامترهای مربوط به نمو و فنولوژی و بعد از آن شاخص سطح برگ و سپس پارامترهای مربوط به سرعت رشد دانه، تعداد دانه و عملکرد دانه واسنجی شدند. در واسنجی هر پارامتر ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده (در سطح مزرعه) وارد مدل شد، اگر داده وارد شده (اندازه-گیری شده) و شبیه‌سازی شده با یک درصد خطای قابل قبول به یکدیگر نزدیک شد، به‌عنوان پارامتر واسنجی-شده در نظر گرفته می‌شود و اگر درصد خطای بالا بود، مقدار وروی با تغییر، به مقدار شبیه‌سازی‌شده نزدیک شد و این کار تا جایی ادامه یافت، که دقت شبیه‌سازی دارای درصد خطای قابل قبولی شد. همچنین باید ذکر شود که تغییرات در مقدار هر پارامتر در دامنه‌ای که در مدل برای گروه‌های مختلف رسیدگی تعریف کرده است صورت گرفت. به منظور واسنجی بیلان آب توسط مدل APSIM- Barley از مطالعه Sadeghi and Kazemeini (2011) استفاده شد. همچنین برای اعتبارسنجی مدل از مطالعات Ghaderi *et al*., (2018) و *et al*. Sorkhi (2018) استفاده شد. در این دو پژوهش از صفت عملکرد دانه برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

Table 1. Physical and chemical characteristics of the tested soil in Hamedan city for model calibration.

depth of Soil (cm	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Bulk density (gcm^{-3})	Organi Carbon (%)	PH	EC (dSm^{-1})	Total nitrogen (%)	Potassium ($Mg\ kg^{-1}$)	Phosphourus ($Mg\ kg^{-1}$)
0-30	44.75	26.5	28.75	1.55	0.47	8	1.13	0.04	471	35
30-60	42.75	26	31.25	1.5	0.43	7.30	1	0.03	447	29
60-90	49	26	25	1.58	0.38	8	0.9	0.03	411	27

Table 2. The amount of genetic coefficients of each cultivar obtained through model recalibration.

Coefficients	Cultivar			Unit
	Bahman	Jolgeh	Azaran	
Thermal time accumulation from flowering to start of grain filling	550	470	500	◦Cd
Number of grain per stem	55	34	30	-
Grain growth rate	0.0010	0.0010	0.0015	mg $kernel^{-1}d^{-1}$
Sensitivity coefficient to photoperiod	4	3.1	1.5	-
Sensitivity coefficient vernalization	2	1.5	1.5	-

تجزیه و تحلیل های آماری

برای ارزیابی مدل و مقایسه مقدارهای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، شاخص سطح برگ، زیست توده، محتوای رطوبت خاک و عملکرد دانه از شاخص‌های آماری nRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (Wallach and Goffinet,1987)؛ d-index: شاخص توافق (Willmott, 1982)؛ MBE: میانگین انحراف خطا (Willmott and Matsuura, 2005) با توجه به رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$nRMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad ۱$$

$$d\text{-}index = 1.0 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)2}{\sum_{i=1}^{n}(|Si-\bar{O}|+|Oi-\bar{O}|)2}\right] \quad ۲$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)}{n} \quad ۳$$

که در این روابط n: تعداد مشاهدات؛ O: داده مشاهده شده؛ S: داده شبیه سازی شده و $\bar{O}$: میانگین داده مشاهده شده می باشند. مقادیر شاخص nRMSE در بازه های ۱۰ -۰، ۲۰-۱۰ ۳۰-۲۰ درصد به ترتیب نشان دهنده‌ی وضعیت ایده آل (عالی) مناسب (خوب) و متوسط مدل در پیش بینی و بیشتر از ۳۰ درصد بیانگر عدم کارا بودن مدل می باشد. مقدار شاخص d-index بین ۰-۱ متغیر است که میزان انطباق میان داده‌های مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده را نشان می-دهد و نزدیک بودن مقدار این شاخص به ۱ بیانگر نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی شده به مقادیر واقعی و در حقیقت کارکرد بهتر مدل است. MBE برآورد کم و بیش از حد مدل را نشان

می‌هد که از منفی بی نهایت تا مثبت بی نهایت متغیر است و دقت مدل با نزدیک شدن مقدار MBE به صفر افزایش می-یابد. علاوه بر شاخص‌های بالا، از ضریب تبیین برای اندازه-گیری دقت مدل نیز در مطالعه حاضر بهره‌گیری شد. برای تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها و نمودارها از نرم افزار OriginPro (Seifert, 2014) استفاده گردید.

نتایج و بحث

واسنجی شاخص سطح برگ

مقایسه روند شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده مربوط به ارقام در تیمارهای مصرف آب و نیتروژن کامل و تیمار تنش کامل آبی و نیتروژن، حاکی از توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی این پارامتر مهم می‌باشد. به طوریکه ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق در تیمار آبیاری بدون تنش در سراسر ارقام مورد بررسی به ترتیب ۱۲/۶ درصد و ۰/۹۶، برای تنش متوسط به ترتیب ۱۵/۸ درصد و ۰/۹۴ و برای تنش شدید ۲۰/۵۳ درصد و ۰/۹۴ بود (شکل ۱). هر چند با کاهش فراهمی آب قدرت مدل در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ارقام تا حدودی افت کرد، اما شاخص سطح برگ در تیمار تنش کامل آب نیز با دقت قابل قبولی برای هر سه رقم شبیه سازی شد. اما در مجموع دقت مدل بر اساس نتایج درصد RMSE در شبیه‌سازی خوب ارزیابی شد. در مدل APSIM پیش بینی دقیق شاخص سطح برگ از طریق تاثیر دقیق در دریافت تشعشع بر روی پیش بینی دقیق ماده خشک تاثیر می گذارد (Keating, 2003). Mesfin *et al.* (2015) در تحقیق خود بر روی مدل APSIM-Maize پارامتریابی و ارزیابی تحت تیمارهای نیتروژن و تاریخ کاشت، اظهار کردند که مدل شاخص سطح برگ را به خوبی شبیه‌سازی کرد، همچنین این مدل دقت بالایی در شبیه‌سازی بیوماس، فنولوژی و عملکرد داشت. برای پیش بینی دقیق شاخص سطح برگ در این مدل عواملی از جمله فنولوژی، سرعت ظهور برگ و تنش های نیتروژن و آب تاثیر گذار هستند (Archontoulis *et al.*, 2014).

واسنجی روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی

مدل APSIM دارای ضریب ژنتیکی است که از طریق آن‌ها می‌توان رشد و نمو مختص هر رقم را شبیه‌سازی کرد. این ضرایب را می‌توان در چند گروه طبقه بندی کرد. برخی از آن‌ها نمو فنولوژیک در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (مانند زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی)، برخی مرتبط با دوره رشد رویشی گیاه هستند (مانند وزن خشک تک ساقه)، تعدادی از آن‌ها بر شبیه‌سازی فرآیند گلدهی تأثیر دارند (مانند شیب فتوپریود) و مابقی ضرایب، رشد دانه و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهند (مانند سرعت رشد دانه). برخی از این ضرایب را می‌توان به صورت مستقیم (از طریق انجام آزمایش) و برخی دیگر را به صورت غیر مستقیم (از طریق برآورد آن‌ها با کمک مدل) محاسبه کرد. نتایج حاصل از ارزیابی در مرحله روز تا گلدهی و رسیدگی نشان می‌دهد که مدل برای هر سه رقم بهمن، آذران و جلگه در حد خوب شبیه‌سازی کرده است. به طوری که شاخص ریشه میانگین مربعات نرمال شده برای روز تا گلدهی ۲/۴۳ و روز تا رسیدگی ۲/۴۰ بود. شاخص توافق شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای برای روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی هر دو ۰/۹۹ بود (شکل ۲). همچنین که میانگین مقدار مشاهده شده برای روز تا گلدهی برابر ۱۸۸/۱۵ و برای صفت روز تا رسیدگی ۲۲۵/۳۷ و مقدار شبیه سازی شده برای صفات مذکور به ترتیب ۱۸۸/۶۶ و ۲۲۲/۶۶ بود. شاخص ریشه میانگین مربعات نرمال شده شبیه سازی شده برای روز تا گلدهی ۲/۴۳ و روز تا رسیدگی ۲/۴۰ بود. همچنین مدل در زمینه روز تا گلدهی بیش برآورد (۰/۵۱ روز) و برای روز تا رسیدگی کم برآورد (۲/۷- روز) نشان داد (شکل ۲). در پژوهشی مدل APSIM زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی را به ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا ۳/۷ و ۳/۱ روز با دقت بالایی شبیه‌سازی کرد پیش بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نموی گیاه اهمیت زیادی دارد چون تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی زراعی تا حدود زیادی تحت تأثیر زمان وقوع مراحل فنولوژی می-باشد (Araya *et al.*, 2015).

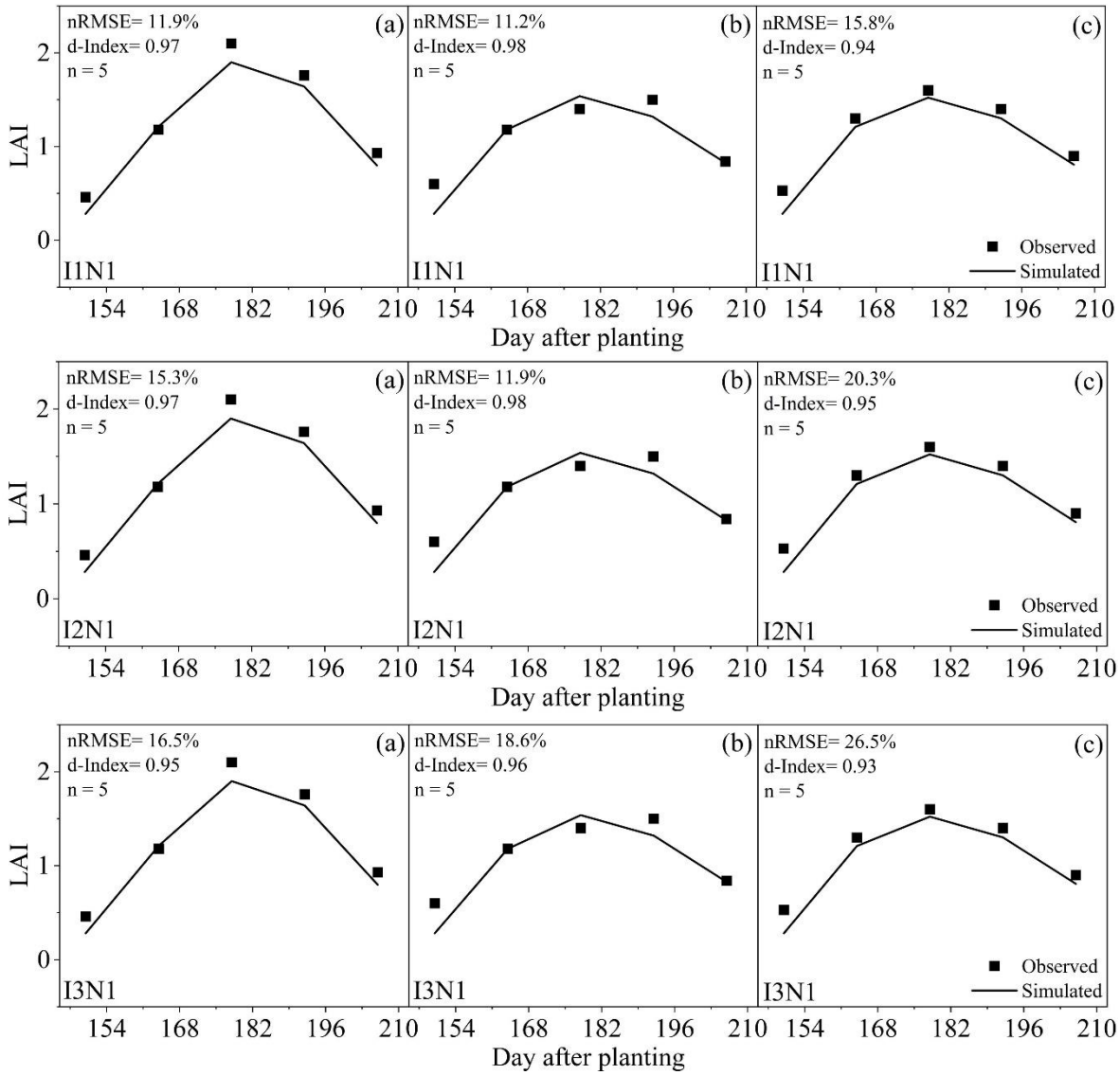

Figure 1. Calibration of leaf area index trend in different cultivars under 3 level irrigation treatments and zero nitrogen level. a: Azaran cultivar; b: Jolgeh cultivar; c: Bahman cultivar; I1, I2, and I3 show 30-40, 60-70, and 90-100% of the field capacity, repectively; N1: zero nitrogen level; nRMSE: normalized root mean squared error; d-index: The Willmott index of agreement; n: number of observations.

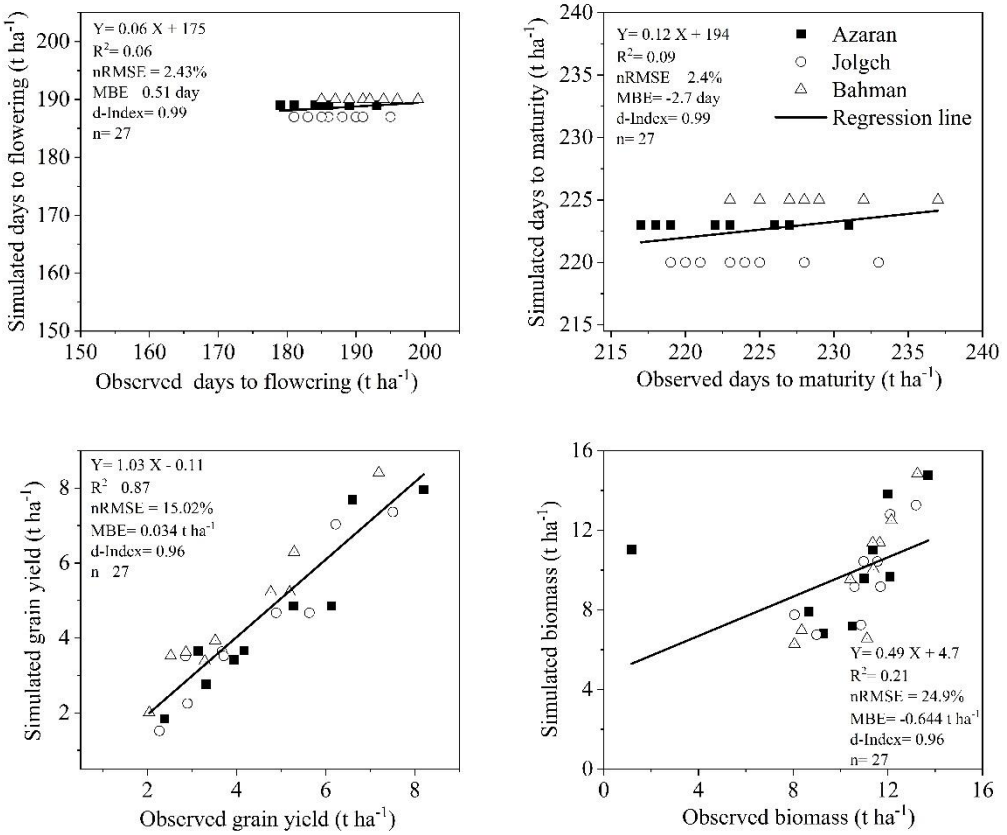

Figure 2. Calibration results for days to flowering, days to maturity, biomass, and grain yield. nRMSE: normalized root mean squared error; d-index: The Willmott index of agreement; MBE: mean bias error; n: number of observations.

درطول دوره رشد، مواد فتوسنتزی تولید شده توسط برگ‌ها در میان ریشه، ساقه، برگ و گل توزیع می‌شوند ارقام دیررس و متوسطرس نسبت به ارقام زودرس به علت دارا بودن طول دوره رشد رویشی بیشتر دارای ارتفاع بیشتری بوده و این از دلایل بالا بودن وزن خشک ساقه ارقام دیررس و متوسطرس نسبت به ارقام زودرس می‌تواند باشد. Clark. (1997) در تحقیقی گزارش کرد زمان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک ۴۰ تا ۴۵ روز طول می‌کشد و به گروه رسیدگی بستگی دارد که ارقام متوسط رس و دیررس در برابر ارقام زودرس دارای دوره رشد زایشی کوتاهتری هستند. ولی برعکس دوره رشد رویشی طولانی‌تری نسبت به ارقام زودرس دارند. (*et al.*, 2010) در تحقیق خود در زمینه ارزیابی مدل اظهار داشتند که یکی از دلایل دقت بالای پیش بینی فنولوژی توسط مدل ناشی از برآورد دقیق پارامترهای گیاهی ارقام گندم بوده است. در بین ارقام مختلف رقم بهمن با مقدار ۵۵۰ درجه روز رشد از زمان گلدهی تا رسیدگی بیشترین میزان را به خود اختصاص داد. در مدل فاصله بین گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی به وسیله یک پارامتر درجه روز رشد محاسبه می‌شود در مقابل فاصله بین سبزشدن تا گلدهی نیاز به محاسبات دشوارتری از جمله حساسیت به فتوپریود دارد. این مرحله نیاز به پارامترهایی از درجه روز رشد، حساسیت به فتوپریود، زمان دمای تجمعی از زمان ظهور برگ پرچم تا مرحله گرده‌افشانی دارد (Keating *et al.*, 2003). میزان درجه روز رشد از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در ارقام دیررس بیشتر از ارقام میانرس و زودرس است و نتیجه گرفتند که ارقام دیررس طی فصل رشد به درجه روز رشد بیشتری برای تکمیل دوره

رشد رویشی نیاز دارند ولی درجه روز رشد دوره رشد زایشی آن‌ها کمتر است (Dwyer *et al*., 2003).

واسنجی عملکرد زیست توده و دانه

واسنجی زیست توده و عملکرد دانه در طول فصل رشد در رابطه با ارقام با دقت بالایی توسط مدل پیش بینی شد. شبیه‌سازی مقدار زیست توده و عملکرد دانه برای هر سه رقم و با دقت بالایی توسط مدل انجام شد. مقدار آماره‌ی ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده برای شبیه سازی عملکرد زیست توده و دانه به ترتیب برابر با ۲۴/۹۰ و ۱۵/۰۲ درصد و شاخص توافق به ترتیب برابر ۰/۹۸ و ۰/۹۶ بود. همچنین میانگین انحراف خطا برای عملکرد زیست توده و دانه به ترتیب برابر با ۰/۶۴- و ۰/۰۳۴ تن در هکتار بود (شکل ۲). همان طور که در شکل ۲ مشخص می باشد مدل عملکرد زیست توده را با میانگین ۹/۹۳ تن در هکتار نزدیک به مقدار مشاهده شده ۱۰/۵۳ و در حد مناسبی شبیه‌سازی نموده است. از عواملی که در ارزیابی عملکرد زیست توده توسط مدل مؤثر است شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ توسط مدل می‌باشد (شکل ۱). اساس شبیه‌سازی زیست‌توده در مدل از میزان نور دریافت شده توسط بوته و کارآیی مصرف نور استوار است (Keating *et al*., 2003). میزان تشعشع دریافت شده توسط بوته نیز تابعی از شاخص سطح برگ و ضریب استهلاک نوری است در واقع پیش‌بینی دقیق عملکرد زیست توده توسط مدل و پیش‌بینی دقیق شاخص سطح برگ می‌باشد (Hammer *et al*., 2010). اختلاف زیست‌توده در بین ارقام مختلف نیز قابل مشاهده می‌باشد. از عوامل موثر بر برتری رقم بهمن می توان به شاخص سطح برگ بالای آن اشاره نمود. با افزایش طول دوره رشد رویشی عملکرد زیست توده نیز افزایش می‌یابد. شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ و زیست توده می‌تواند در کنار پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژیک موجبات شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه را فراهم آورد (شکل ۱ و ۲). در واقع بیوماس تولید شده باید از طریق ضرایب تخصیص به اندام‌های مختلف اختصاص داده شود. ضرایب تخصیص بر اساس مراحل فنولوژیک متفاوت هستند و پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژیک باعث می‌شود ضرایب تخصیص با توجه به هر مرحله به طور دقیق شبیه‌سازی شوند و در نهایت وزن دانه، تعداد دانه و عملکرد دانه با دقت بالایی پیش‌بینی شوند. به عنوان مثال همانطور که در شکل ۲ مشخص می‌باشد مدل عملکرد مشاهده شده زیست توده را با میانگین ۹/۹۳ تن در هکتار نزدیک به مقدار ۱۰/۵۳ و در حد مناسبی شبیه‌سازی نموده است این در حالی است که میزان مقدار شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای روز تا گلدهی به ترتیب برابر با ۱۸۸/۶ و ۱۸۸/۱ روز و برای روز تا رسیدگی به ترتیب برابر با ۲۲۲/۶ و ۲۲۵/۳ روز می باشد که همانند عملکرد دانه در حد مناسبی قرار دارند. Rahimi Moghaddam *et al*. (2015) در پژوهشی گزارش کردند شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ می‌تواند درکنار پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژیک موجبات شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه و زیست‌توده را فراهم آورد.

واسنجی محتوای رطوبت خاک

ارزیابی مدل APSIM نشان می‌دهد که محتوای رطوبتی خاک با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده و شاخص توافق به ترتیب برای سال اول ۸ /۱۱ و ۰/۹۲ و برای سال دوم ۱۳/۰۶ و ۰/۸۴ به طور دقیق توسط مدل شبیه‌سازی شده است. همچنین مقدار میانگین انحراف خطا نشان دهنده کم‌برآورد رطوبت خاک توسط مدل بود (۰/۰۱۱- و ۰/۰۱۲- میلی‌متر بر میلی‌متر به ترتیب برای سال اول و دوم). همچنین مقدار میانگین مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای محتوای رطوبتی خاک در طول فصل رشد برای سال اول به ترتیب برابر با ۰/۱۴۱ و ۰/۱۳۰ میلی‌متر و برای سال دوم به ترتیب برابر با ۰/۱۵۲ و ۰/۱۶۲ میلی-متر بود (شکل ۳). محتوای رطوبت خاک یک پارامتر دقیق برای نشان دادن دادن شبیه سازی بیلان آب توسط مدل می باشد. به طور کلی میزان رطوبت خاک نشان

دهنده مقدار آب باقی‌مانده در خاک پس کسر تعرق، تبخیر، رواناب و نفوذ عمقی از میزان بارش و آبیاری می‌باشد. شبیه‌سازی دقیق میزان رطوبت خاک در نهایت نشان دهنده شبیه سازی دقیق تنش رطوبتی بر میزان بیوماس و عملکرد تولیدی می شود. در تحقیقی نشان داده شد که میزان ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده برای رطوبت خاک و عملکرد دانه ذرت توسط مدل APSIM برابر با ۷/۲۱ و ۹/۸ درصد بود که نشان داد مدل APSIM قادر بود رشد و عملکرد دانه ذرت را در پاسخ به روش‌های مختلف مدیریتی (از ۳۰ تا ۶۰ درصد کاهش در مقدار آب قابل دسترس) را بخوبی شبیه‌سازی کند (Rahimi-Moghaddam *et al*, 2019)

اعتبارسنجی عملکرد دانه

نتایج اعتبارسنجی مدل برای عملکرد دانه نشان داده مدل با درجه دقت قابل قبولی این صفت را شبیه‌سازی کند به طوری که ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، شاخص توافق، ضریب تبیین و میانگین انحراف خطا به ترتیب برابر با ۱۵/۰۲ درصد، ۰/۹۶، ۰/۸۲ و ۰/۳۴ تن در هکتار بود (شکل ۴). هدف نهایی مدل‌های رشد گیاهان زراعی تخمین عملکرد نهایی می‌باشد. در واقع برآیند تمام روابطی که بین فرآیندهای اصلی درگیر در رشد و نمو گیاه وجود دارند در متغیری به نام عملکرد خلاصه می‌شود. بدیهی است که لازمهٔ پیش‌بینی صحیح عملکرد نهایی برآورد صحیح شاخص سطح برگ، جذب نور و تولید مادهٔ خشک می‌باشد (Hosseinpanahi *et al*., 2013). در بخش‌های قبل نشان داده شد که مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی مراحل نموی، طول دورهٔ رشد، تغییرات سطح برگ و زیست‌توده بود. هر چند که تحت شرایط تنش دقّت مدل نسبت به شرایط پتانسیل اندکی کاهش یافت اما نتایج شبیه‌سازی در مجموع قابل قبول بود بر این اساس توانایی مدل در تخمین عملکرد نهایی در حد مناسبی ارزیابی شد. تعیین زمان دقیق مراحل فنولوژیکی برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه دارای اهمیت بسیاری است. چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی، ضرایب تخصیص متناسب با مراحل نموی گیاه انجام می‌گیرد. از این رو پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژی برای ارقام مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ضروری است.

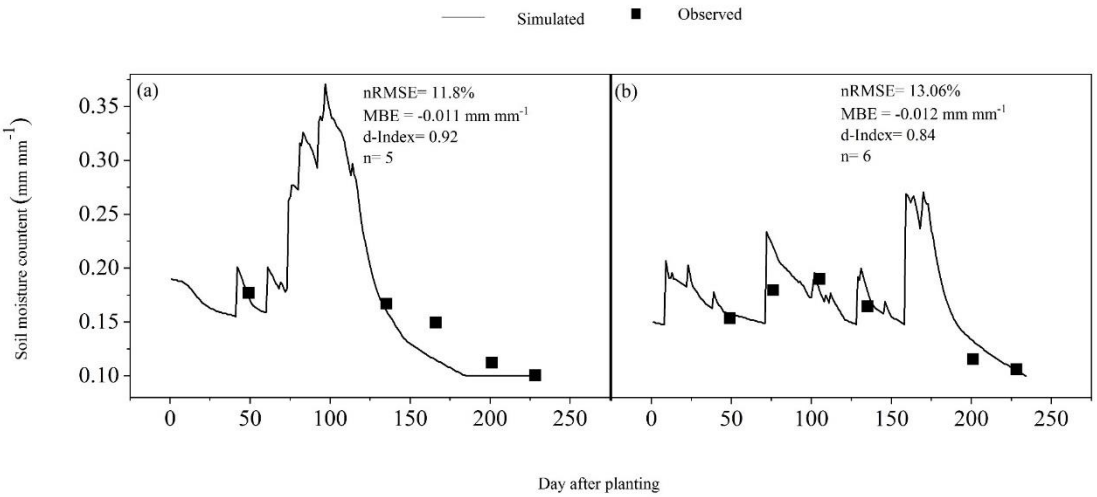

Figure 3. Calibration of soil moisture content at a depth of 0-30 cm in two cropping years 2007-2008 (a) and 2008-2009 (b)) Sadeghi and Kazemini, 2011). nRMSE: normalized root mean squared error; d-index: The Willmott index of agreement; MBE: mean bias error; n: number of observations.

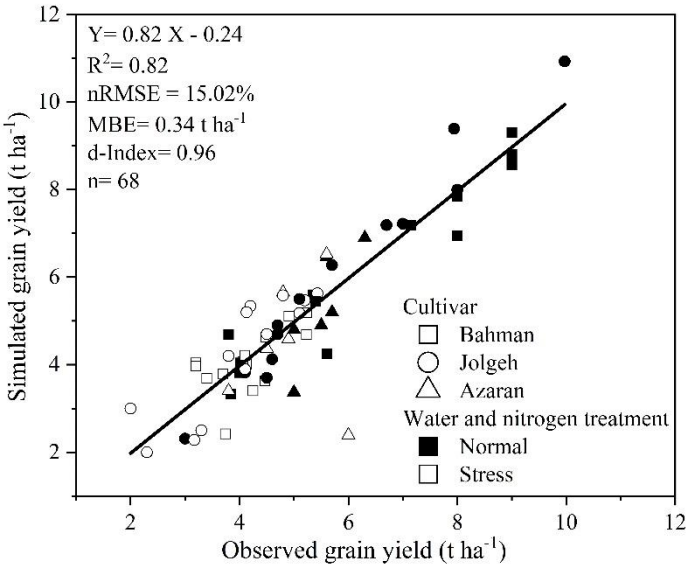

Figure 4. Validation of Grain yield for different cultivars (Bahman, Jalga, and Azaran as late-, mid, and early-maturity cultivars) under normal and water and nitrogen conditions across various years. nRMSE: normalized root mean squared error; d-index: The Willmott index of agreement; R^2: Coefficient of determination; n: number of observations (10; 37)

از عواملی که بر روی عملکرد دانه می‌تواند موثر باشد می‌تواند به تعداد دانه و سرعت رشد دانه و همچنین میزان زمان تجمعی دما اشاره کرد که بطور مستقیم بر عملکرد دانه موثرند. Jamieson *et al.* (2013) نیز عنوان کردند که پیش‌بینی صحیح تاریخ گلدهی و شاخص سطح برگ مهمترین عوامل در برآورد دقیق عملکرد نهایی می‌باشند. Rahimi-Moghaddam *et al.* (2018) بیان داشتند که مدل APSIM در پیش‌بینی رشد و عملکرد تحت تیمارهای مدیریتی نیتروژن، رقم و آبیاری از اعتبار کافی برخوردار است. Kpongor *et al.* (2007) قدرت مدل APSIM در پیش‌بینی عملکرد دانه سورگوم نسبت به کود نیتروژن و فسفر تحت دو سیستم متفاوت مدیریتی در غنا را خوب ارزیابی کردند. در نهایت تعیین پارامترهای مختلف باعث شبیه‌سازی دقیق صفات متفاوت شود. همچنین شبیه‌سازی دقیق بیلان آب (تحت عنوان پارامتر میزان رطوبت خاک) باعث در نظر گرفتن دقیق اثرات تنش خشکی بر روی صفات مورد مطالعه و نهایتا عملکرد دانه ارقام مختلف جو شد. به طور کلی، با توجه به اینکه اعتبارسنجی مدل برای ارقام مختلف جو در سال‌های مختلف و همچنین تیمارهای مختلف نیتروژن و تنش آب صورت گرفت، نتایج نشان دهنده این موضوع بود که مدل APSIM-Barley برای پیش‌بینی عملکرد دانه گیاه جو و ارقام مورد مطالعه تحت تیمارهای مختلف مدیریتی آب و نیتروژن در شرایط اقلیمی مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرید.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از ارزیابی توسط مدل APSIM-Barley حاکی از شبیه‌سازی رشد و عملکرد ارقام جو بهمن، جلگه و آذران با دقت بالا بود. کارکرد کلی مدل در رابطه با پیش‌بینی فنولوژی، عملکرد زیست توده و عملکرد دانه نهایی ارقام تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن خوب بود به طوری که شاخص‌های‌ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، شاخص توافق، میانگین انحراف خطا و ضریب تبیین برای شبیه‌سازی عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۱۵/۰۲ درصد،۰/۹۶، ۰/۳۴ تن در هکتار، ۰/۸۲. بود و این موضوع نشان دهنده ساختار

مناسب مدل در شبیه‌سازی ست. همچنین این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مزرعه مانند انتخاب زمان و میزان آبیاری و کود نیتروژن و غیره مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی نتایج آزمایش مشخص کرد که این مدل با شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ و مراحل فنولوژیکی به عنوان ابزاری قابل اعتماد برای پیش‌بینی صفات و پارامترهای مهم گیاهی مانند عملکرد محصول می‌تواند در مطالعات آینده مورد استفاده قرار گیرد، همچنین در این تحقیق نتایج های به دست آمده از طریق پارامتریابی و ارزیابی مدل، این قابلیت را دارد که در زمینه ارزیابی تغییر اقلیم، آنالیز خلاء عملکرد، پهنه بندی و غیزه مورد استفاده سایر محققین این حوزه قرارگیرد.

سپاس گزاری

با قدردانی از تمامی نویسندگان که در اجرا و تحریر این پژوهش همکاری داشته‌اند همچنین از دکتر مهرداد چاپیچی رئیس بخش غلات مرکز تحیقات آموزش و ترویج کشاورزی استان همدان که در ارائه اطلاعات و داد های لازم برای انجام این مطالعه همکاری داشته‌اند تشکر می کنم.

Reference

Amjed, A., Sanjani, S., Hoogenboom, G., Ahmad, A., Khaliq, T., Wajid, S., Noorka, I., & Ahmad, S. (2012). Application of crop growth models in agriculture of developing countries: a review. *New Horizons Science Technol*, 1, 95-99.

Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgue, K.M., Kisekkaf, I., & Martorano, L.G. (2015). Assessment of maize growth and yield using crop models underpresent and future climate in southwestern Ethiopia. *Agricultural and forest Meteorol*, 214, 252-265.

Archontoulis, S.V., Miguez, F.E., & Moore, K.J. (2014). Evaluating APSIM maize, soil water, soil nitrogen, manure, and soil temperature modules in the Midwestern United States. *Agronomy Journal*, 106(3), 1025-1040.

Beah, A., Kamara, A . Y., Jibrin, J . M., Akinseye, F. M., Tofa, A . I. & Adam, A . M .(2021).Simulating the Response of Drought–Tolerant Maize Varieties to Nitrogen Application in Contrasting Environments in the Nigeria Savannas Using the APSIM Model. *Agronomy MDPI*, 11-76.

Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussiere, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillere, J.P., Henault, C., Maraux, F., Seguin, B., & Sinoquet, H. 2003. An overview of the crop model STICS. *Europ. Journal Agronomy*, 18, 309– 332.

Clark, L. (1997). "Grain sorghum production in the Texas Rolling Plains." *Vernon Research Center Technical Report:* 97-91.

Deihimfard, R., Rahimimoghaddam, S. & Chenu, K . (2019). Risk assessment of frost damageto sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International journal of Biometeorol*, 63(4), 511-521.

Dwyer, L.M., Evanson, L. & Hamilton, R.I. (2003). Maize physiological traits related to grain yield and harvest moisture in mid-toshortseason environments. *Crop Science*, 34, 985-992.

FAOSTAT, (2019). Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#home (accessed on 1 November 2021) .

Ghaderi, K., Mohammadi, S., Dadashi, M. & Majidi, A.(2018).The response of barley genotypes (Hordeum vulgare L.) to different levels of nitrogen fertilizer application under normal irrigation conditions and drought stress. *Enviromental stresses in crop Sciences*, 13(1), 73-84.

Habibi, H. Niknezhad, Y. Fallah, H . Dastan, S. & Barari Tari .(2020) . Estimation of Yield Gap of Rice by Comparative Performance Analysis (CPA) in Amol and Rasht Regions.*Plant Prodaction* .42(4), 551-562.

Hammer, G.L., Van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., & Muchow, R.C. (2010). Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany*, 61(8), 2185–2202.

Holzworth, D. P., Huth, N . I., Dvoil, P .G., Zurcher, E . G., Herrmann, N . I., Mclean, G., Chenu, K., Voonstrom, E., Snow, V., Murphy, C., Moore, A . D., Brown, H., Wish, J . P., Verral, S., Fainges, J., Bell, L . W., Peake, A . S., Poulton, P . L & Keating, B . A . (2014). "APSIM– evolution towards a new generation of agricultural systems simulation." *Environmental Modelling & Software*, 62, 327-350.

Hosseinpanahi,F., Kafi, M. Parsa, M. Nasir iMahalati, M. & Banayanaval, M. (2013). valuation of a model for simulating growth and development of wheat (*Triticum aestivum L*.) under drought stress conditions.Gorgan, Iran. *Journal Field Crops Reserch*, 12(3), 387-402.

Ibrahim, A., Harrison, M.T., Meinke, H. & Zhou, M., (2019). Examining the yield potential of barley near-isogenic lines using a genotype by environment by management analysis. *European Journal of Agronomy*, 105, pp.41-51.

Jamieson, P., Semenov, M., Brooking, I. and Fransic, G . (1998). "Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *European Journal of Agronomy*, (3-4), 161-179.

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. *Europ. Journal Agronomy*, 18, 267– 288.

Keshavarzmehr,M. Mogaddam, H.Oveisi, M. & Bazrafshan, J. (2020). Parameterization and Evaluation of APSIM-Wheat Model for Winter Wheat: Model Application under Climate Chang. *Tehran, Journal. Behzeraee*, 23(1), 43-58[In Persian]

Kpongor, D., S. (2007). Spatially explicit modeling of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) production on complex terrain of a semi-arid region in Ghana using APSIM, Universitäts-und Landesbibliothek Bonn.

Mahru, A.H., Soltani, A., Galeshi, S., & Kalate-Arabi, M. (2010). Estimates of genetic coefficients and evaluation of DSSAT model for Golestan province. *Electronic journal of crop production*, 3(2), 229-253. [In Persian]

Makowski, D., Naud, C., Jeffroy, M.H., Barbttin, A., & Monod, H. (2006). Global sensitivity analysis for calculating the contribution of genetic parameters to the variance of crop model prediction. Reliability Engineering & System Safety, 91, 1142- 1147.

Mendenhall, W., Sincich, T., & Boudreau, N.S. (1996). A second course in statistics: regression analysis. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey.

Mesfin, T., Moeller, C., Parsons, D., & Meinke, H. (2015). Maize (*Zea mays* L.) productivity as influenced by sowing date and nitrogen fertiliser rate at Melkassa, Ethiopia: parameterisation and evaluation of APSIM-Maize.17nd *Australian Society of Agronomy Conference*. Hobart. Sep, 20- 24. 1- 4.

Ministry of Agriculture Jahad, (2019). Final report of planting maize in (2020). with province separation. *Agronomy Department, MoJA, Iran*. [In Persian]

Paknejad, F., Moayeri por, S., Aghayari, F & Nabi Ilkaei, M. (2017). Simulation of maize yield with different levels of nitrogen by using DSSAT model. *Journal of crop Ecophysiology*, 43, 503-518. [In Persian]

Rahimi-Moghaddam, s. and Eyni-Nargeseh, H. (2022). Identification of different drought patterns of dryland wheat in the northwest of Iran by APSIM model. *Plant Productions*,45(3),435-466. [In Persian]

Rahimi Moghaddam, S., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Kambouzia, J., Nazariyan Firuzabadi, F., & Eyni Nargeseh, H. (2015b). Determination of genetic coefficients of some maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for application in crop simulation models. Iran. Journal. *Field Crops Reserch*, 13(2), 328-339 [In Persian]

Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. & Deihimfard, R . (2019). Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. Ecological Indicators, 107, p.105570.

Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., 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.

Román-Paoli, E.,Welch, S. M . & Vanderlip, R.l .(2000). "Comparing genetic coefficient estimation methods using the CERES-Maize model." *Agricultural Systems*, 65(1), 29-41.

Sadeghi, H. & Kazemeini, A.(2011). Investigating the physiological characteristics of two barley cultivars and soil moisture percentage in response to the management of plant residues and nitrogen levels in rainfed conditions**.** *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(3), 544-556.

Seifert, E. (2014). OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. *Journal of chemical information and modeling*, 54(5), 1552–1552.

Soltani, A.,Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I Vandermeer, J., & Whitbread, A. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI.Wallingford. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv*. P :151, 53-59.

Sorkhi, B., Mohammadi, S., Teimorpoor, H., Tat, M.H., Komaili, H.R . (2018). Evaluation of compatibility of barley elite lines in yield stability studies for drought at the end of the season in the cold region. Final report, No. 97/817. Seed and Plant Improvement Institute, Research Department, Karaj, Iran. [In Persian]

Wallach, D., & Goffinet, B. (1987). Mean squared error of prediction in models forstudying economic and agricultural systems. *Biometrics*, 43, 561–576.

Wang, E., Robertson, M.J., Hammer, G.L., Carberry, P.S., Holzworth, D., Meinke, H., Chapman, S.C., Hargreaves, J.N.G., Huth, N.I., & McLean, G. (2002). Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM. *European Journal of Agronomy*, 18(1), 121-140.

Willmott, C.J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American *Meteorological Society*, 63, 1309–1313.

Willmott, C.J. & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over theroot mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30, 79–82.