

## Simulation of yield and water productivity of Cowpea cultivars under deficit irrigation conditions using the DSSAT model

Ali Abdzad Gohari <sup>1\*</sup> , Hossein Babazadeh <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Graduated Ph.D. Student, On-Farm Water Management Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### Abstract

#### Introduction

Deficit irrigation is a solution for less water use with the aim of maximum use of the unit volume of water use and water storage and saving for the development of agriculture or the development of other consumption sections. Although the direct result of the lack of irrigation is the reduction of yield at the unit level, the reduction of production costs and the optimization of net profit will compensate for the reduction of yield. In order to adapt and deal with the limitation of water, it is necessary to use mechanisms to increase the efficiency of water use and water resources. Deficit irrigation is used as a technical and economic method in irrigation to improve the relationship between drinking water and the functioning of agricultural plants, and also as one of the productivity solutions in conditions of water shortage. This method requires consistent, accurate, and efficient management, which is different from traditional irrigation management. Another to solve this problem is the use of crop models that simulate crop yield under different soil and climate conditions. The great advantage of these models is the low cost and the short time spent to obtain results, besides helping better agricultural planning and management towards higher profits. The DSSAT model is a computational system that includes a database management system, crop models, and application programs. Plant simulation models can be useful for predicting crop yield and investigating the effect of drought stress on plant growth and development. The DSSAT model is able to evaluate the impact of environmental factors such as weather, soil properties, and field management decisions. The data and information needed to run the model include spatial location (longitude and latitude, altitude above sea level, average annual temperature) and meteorological information (daily minimum and maximum temperature, solar radiation, and radiation), soil science (such as soil texture, soil structure and depth of each layer, apparent specific weight, nutrients, wilting point, and electrical conductivity), and agricultural operations (type of number and Its type is planting date, planting depth, line spacing, planting density, irrigation dates, amount of irrigation water). In this research, the DSSAT model was used to simulate seed yield, pod, biomass, soil water balance components, and water consumption efficiency in cowpea cultivars.

#### Materials and Methods

This experiment was conducted for two consecutive cropping seasons in 2018 and 2019 in Guilan province and in Astaneh-Ashrafiyeh city with an average height of -5 meters at sea level. The amount of rainfall during the growing season of cowpea in the first and second years was 93 and 94 mm, respectively. This research was done in the form of split plots and in the form of a randomized complete block design with three replications, and the main factor in it includes irrigation at three levels: 100% of water requirement ( $I_1$ ), 75% of water requirement ( $I_2$ ) and 50% of water requirement ( $I_3$ ), and the secondary treatment included three cultivars of cowpea, Kamran cultivar ( $C_1$ ), Khuzestan local variety ( $C_2$ ) and Dehsari local cultivar ( $C_3$ ). The amount of water supplied to each experimental unit was measured by a counter. The amount of water used during the plant growth period included the total amount of irrigation water and the amount of rainfall.

## Results and Discussion

The results showed that the average relative error between the observed and simulated values in 2018 and 2019 for biomass yields were -0.88 and -0.89%, respectively. With full irrigation and providing 100% of water needs, the amount of biomass, seed, and pod yield in cowpea cultivars increased and the model was able to simulate the process of yield changes in different water needs. The relative error (MRE) between the observed and simulated values in biomass yields in 2017 were between -1.14 and -0.55 percent and in 2018 between -1.19 and -0.55 percent. The root mean square error in estimating the productivity of water use based on biomass yield based on water use, for Kamran, Khuzestan, and Dehsari cultivars in 2017 respectively 0.0106, 0.01078, and 0.01087 kg.m<sup>-3</sup> and per the year 2018 were estimated as 0.01044, 0.01079, and 0.01091 kg.m<sup>-3</sup> respectively. Examining the values of simulation and observation on biomass, seed, and pod yield showed that root means square error and average relative error rate and other statistical tests were within the acceptable range and the DSSAT model was able to reproduce the yield of cowpea cultivars in simulate well the conditions of deficit irrigation. The average relative error between observed and simulated values in water productivity based on water use in biomass, seed, and pod yields in 2018 were -0.95, 0.29, and -0.47 % respectively, and in 2019 it was -0.67, 0.001, and -0.40 % respectively. The mentioned values in water productivity based on transpiration and also based on evaporation and transpiration in the yield of biomass, seeds, and pods were -0.88, 0.08, and -0.45% respectively in 2018 and in 2019, were -0.89, 0.07, and -0.45%, which indicates the appropriate evaluation of the model in simulation and observation conditions.

## Conclusion

In the field experiment, with the increase in the amount of irrigation water, the seed and biomass yields in cowpea cultivars increased and the DSSAT model was able to change these traits at different levels of irrigation, in accordance with the results observed in the simulation field. However, with the increase of drought stress, the percentage of simulated relative error was higher in stressed conditions than in irrigated conditions. The values of RMSE and RMSE<sub>n</sub> statistics for each function and water productivity parameters showed that the DSSAT model has an acceptable error. The simulation of the yields of seed, pod, and biomass under the influence of deficit irrigation was acceptable with the mentioned model and it is able to be an efficient tool to support decisions and improve research in management. Water use in cowpea should be recommended for the study area.

**Keywords:** Harvest index, Irrigation management, Local cultivar, Water requirement

**Article Type:** Research Article

\*Corresponding Author, E-mail: [abdzagohari\\_a@yahoo.com](mailto:abdzagohari_a@yahoo.com)

**Citation:** Abdzagohari, A., & Babazadeh, H. (2023). Simulation of yield and water productivity of Cowpea cultivars under deficit irrigation conditions using DSSAT model. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 215-232.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11665.1153

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.14.2

Received: 13 October 2022, Received in revised form: 09 November 2022, Accepted: 10 November 2022, Published online: 10 November 2022

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2023, Vol. 3, No. 1, pp. 215-232

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## شبیه سازی عملکرد و بهره‌وری آب ارقام لوبیای چشم‌بلبلی تحت شرایط کم‌آبایی با استفاده از مدل DSSAT

علی عبدزادگوهری<sup>۱\*</sup>، حسین بابازاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
<sup>۲</sup> استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی می‌توانند برای پیش‌بینی عملکرد محصول و بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد و نمو گیاه مفید باشند. در پژوهش حاضر به منظور شبیه‌سازی عملکرد دانه، غلاف، زیست‌توده، اجزای بیلان آب خاک و بهره‌وری مصرف آب در ارقام گیاه لوبیای چشم‌بلبلی از مدل DSSAT استفاده شد. آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو فصل زراعی متوالی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در استان گیلان انجام شد. تیمار اصلی شامل آبیاری در سه سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I<sub>1</sub>)، ۷۵ درصد نیاز آبی (I<sub>2</sub>)، ۵۰ درصد نیاز آبی (I<sub>3</sub>) و تیمار فرعی، سه رقم لوبیای چشم‌بلبلی شامل رقم کامران (C<sub>1</sub>)، رقم محلی خوزستان (C<sub>2</sub>) و رقم محلی دهر (C<sub>3</sub>) بود. نتایج این پژوهش نشان داد که متوسط میزان خطای نسبی (MRE) بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای عملکرد زیست‌توده به ترتیب ۰/۸۸- و ۰/۸۹- درصد، در عملکرد دانه به ترتیب ۰/۱۰ و ۰/۰۹ درصد و برای عملکرد غلاف به ترتیب ۰/۴۵- و ۰/۴۴- درصد بود. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده بر اساس آب مصرفی، برای ارقام کامران، خوزستان و دهری در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۰۱۰۶، ۰/۰۱۰۷۸ و ۰/۰۱۰۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب و در ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۰۱۰۴۴، ۰/۰۱۰۷۹ و ۰/۰۱۰۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد شد. به طور کلی نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای نسبی و متوسط میزان خطای نسبی برای مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف در محدوده قابل قبولی بود و مدل DSSAT توانست عکس‌العمل ارقام گیاه لوبیای چشم‌بلبلی را در شرایط کم‌آبایی به خوبی شبیه‌سازی نماید.

**واژه‌های کلیدی:** رقم محلی، شاخص برداشت، مدیریت آبیاری، نیاز آبی

نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: abdzadgohari\_a@yahoo.com

استناد: عبدزادگوهری، ع. و بابازاده، ح. (۱۴۰۲). شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب ارقام لوبیا چشم‌بلبلی تحت شرایط کم‌آبایی با استفاده از مدل DSSAT. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۲۱۵-۲۳۲.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11665.1153

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.14.2

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۱، صفحه ۲۱۵ تا ۲۳۲

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

لوبیای چشم‌بلیلی یکی از مهم‌ترین حبوبات است که در اکثر نقاط جهان رشد می‌کند (Bhowmik et al., 2020; Daramy et al., 2016). این گیاه متداول‌ترین حبوبات در قاره‌های آفریقا، آسیا، آمریکای مرکزی و جنوبی و همچنین کشورهای اروپایی اطراف دریای مدیترانه کشت می‌شود (Shardendu et al., 2011; Basaran et al., 2011). لوبیای چشم‌بلیلی از لحاظ تغذیه برای انسان و دام ارزشمند بوده و به‌صورت خشک، تازه و سبز برای انسان، و اندام‌های هوایی آن، به‌صورت علوفه برای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chemutai et al., 2018; Chimonyo et al., 2016). دانه‌های لوبیای چشم‌بلیلی حاوی ۲۰ تا ۲۶ درصد پروتئین و ۵۰ تا ۶۷ درصد نشاسته است و طول دوره رشد ارقام مختلف آن از زمان کشت تا برداشت بین ۷۰ تا ۱۲۰ روز متغیر است (Lomeling et al., 2014; Prakasham et al., 2019). تنش آبی بهره‌وری گیاهان را در سراسر جهان، به‌ویژه در سیستم‌های کشاورزی خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند (Shardendu et al., 2011). شدت خشکسالی در مقیاس منطقه‌ای و کاهش بارندگی همراه با افزایش دما و افزایش تبخیر و تعرق، موجب تشدید این تنش خواهد شد. به‌طور کلی، تنش آبی عوامل مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در فتوسنتز که یکی از اهداف فیزیولوژیکی است، بیش‌تر نمایان می‌شود و فرآیندهای گیاهی و مکانیسم‌های تحمل به خشکی را در ارقام مختلف، به‌ویژه آن‌هایی که با شرایط خشک سازگار شده‌اند، بهبود می‌بخشد (Osakabe et al., 2014).

لوبیای چشم‌بلیلی سازگاری خوبی با تنش‌های محیطی دارد و توانایی تحمل درجه حرارت بالا، مقاومت در برابر تنش و میزان نوسانات اسیدیته در خاک را دارد (Lomeling et al., 2014). عملکرد محصولات زراعی و بهره‌وری مصرف آب بیش‌تر تابع مقدار آب آبیاری است و نقش عوامل دیگر به تناسب کم‌تر است. جهت افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ابتدا باید عامل یا عوامل را شناسایی کرد و در ادامه برنامه‌ریزی و تحقیقات لازم در جهت ارتقای بهره‌وری آن صورت گیرد. یکی از روش‌ها افزایش بهره‌وری آب با دیدگاه افزایش تولید به ازای واحد مصرف آب، روش کم‌آبیاری است. استفاده از روش کم‌آبیاری در واقع مدیریتی است آگاهانه که با هدف بهبود بهره‌وری آب آبیاری و کاهش مصارف غیرمفید انجام می‌گیرد. این روش به‌عنوان راهکاری در مصرف کم‌تر آب و با هدف استفاده حداکثری از واحد حجم آب مصرفی، ذخیره و صرفه‌جویی آب، برای توسعه کشاورزی است. اگر

چه نتیجه مستقیم کم‌آبیاری کاهش عملکرد در واحد سطح است، ولی کاهش هزینه‌های تولید و بهینه شدن سود خالص، موجب جبران کاهش عملکرد می‌شود (Ghadami et al., 2015). برای سازگاری و مقابله با محدودیت آب، باید از سازوکارهایی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب و منابع آبی استفاده کرد. کم‌آبیاری به‌عنوان یک روش فنی و اقتصادی در آبیاری برای سامان بخشیدن به روابط آب مصرفی و عملکرد گیاهان زراعی و همچنین به‌عنوان یکی از راهکارهای بهره‌وری در شرایط کمبود آب به‌کار می‌رود. این روش نیازمند مدیریتی منسجم، دقیق و کارآمد است که با مدیریت آبیاری سنتی متفاوت است و مدیریت آبیاری تعیین می‌کند که چه میزان از کم‌آبیاری و چه نوعی از آن باید اعمال شود تا الگوی بهینه کشت و ارزش اقتصادی با توجه به زمان، فیزیولوژی گیاه و مورفولوژی خاک به‌درستی انجام شده باشد (Ghadami et al., 2015; Sepaskhah et al., 2006).

مدل DSSAT<sup>2</sup> (سامانه پشتیبانی تصمیم برای انتقال فناوری کشاورزی)، یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین بسته‌های نرم‌افزاری است که حاوی مدل‌های شبیه‌ساز گیاهان زراعی است و از اواخر دهه ۱۹۸۰ تاکنون در بیش از ۹۰ کشور دنیا استفاده شده است (Hoogenboom et al., 2019; Jones et al., 2003). این نرم‌افزار حاصل تلاش گروهی از محققان، به‌ویژه مدل‌سازان دانشگاه فلوریدا، دانشگاه جورجیا، دانشگاه گونفل و دانشگاه هاوایی است (Hoogenboom et al., 2019). این سیستم شامل مدل‌هایی برای غلات مختلف از جمله ذرت، گندم، سورگوم، ارزن، برنج و جو، همچنین حبوبات و بقولات مانند سویا، بادام زمینی و لوبیای خشک است. مدل‌های حبوبات دانه‌ای با استفاده از یک مدل عمومی به نام CROPGRO انجام می‌شود. مدل برای اجرا به داده‌های خاک، آب و هوا (حداکثر و حداقل دما، بارش و تابش خورشیدی) و خصوصیات گیاهی نیاز دارد (Tsuji et al., 1994). در این مدل امکان گنجاندن سایر محصولات با اصلاحات در فایل‌های رقم فراهم شده است. تعیین پتانسیل عملکرد محصول با روش‌ها متداول نیاز به آزمایش طولانی مدت و پر هزینه دارد که در بیش‌تر موارد ممکن است در شرایطی که منابع محدود هستند، امکان‌پذیر نباشد. با این حال، با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی خاک، آب، هوا و دانش فرآیند فیزیولوژیکی محصول، عملکرد بالقوه را می‌توان با مدل‌های دینامیکی محصول تعیین کرد (Lomeling et al., 2014). لذا، شبیه‌سازی این امکان را فراهم می‌سازد تا بازده محصول را برای آینده پیش‌بینی نمود و دانش و درک محدودیت‌های بیوفیزیکی را برای حصول حداکثر عملکرد به‌دست آورد (Lomeling et al.,

<sup>2</sup> Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)

<sup>1</sup> *Vigna unguiculata* (L.) Walp

و زمان برداشت محصول در این سال‌ها به‌ترتیب ۱۹ و ۲۰ شهریورماه بود. بر اساس آزمون خاک، در ابتدای فصل کشت، ۵۰ کیلوگرم کود فسفر (سوپرفسفات تریپل) و ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (سولفات پتاسیم) استفاده شد. میزان مصرف کود نیتروژن (از منبع اوره)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که به‌صورت تقسیم در سه نوبت به خاک داده شد. برای توزیع آب در سطح مزرعه، از روش آبیاری سطحی استفاده شد. مقدار آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک محاسبه شد و درصد حجمی رطوبت خاک، قبل از آبیاری و با نمونه‌گیری از عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت. عمق خالص آبیاری ( $d_n$ ) بر حسب سانتی‌متر و با بهره‌گیری از تخلیه رطوبتی مجاز (MAD) و با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد. تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار آبیاری کامل بود (Abdzaad Gohari et al., 2022).

$$d_n = \left( \frac{\theta_{fc} - \theta_{pwp}}{100} \right) \times MAD \times D_r \quad (1)$$

که در آن،  $\theta_{fc}$ : درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی،  $\theta_{pwp}$ : درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم و  $D_r$ : عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر) است. اندازه‌گیری بیش‌ترین عمق توسعه ریشه با روش پروفیل مستقیم و به میزان ۶۰ سانتی‌متر بود. مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی توسط کنتور انجام شد. مقدار آب مصرف شده در طول دوره رشد گیاه شامل مجموع آب آبیاری و میزان بارندگی بود. برای تعیین عملکرد گیاه، از هر پلات دو ردیف کشت از طرفین حذف و دوازده بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پس از کف‌بردن، جهت نمونه‌گیری آماده شدند. سپس نمونه‌ها در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و بعد از خشک شدن، توسط ترازو و با دقت یک صدم گرم وزن شدند.

## ۲-۲- بیان آب و بهره‌وری مصرف آب

تبخیر و تعرق واقعی گیاه به‌صورت مستقیم و با استفاده از لایسیمتر و رابطه بیان رطوبتی (رابطه ۲) که شامل میزان آب ورودی و خروجی به ناحیه ریشه گیاه در دوره‌های زمانی مشخص بود، برآورد شد.

$$P_e + I - E - T - R - D = \Delta S \quad (2)$$

که در آن، E: میزان تبخیر (میلی‌متر)، T: میزان تعرق (میلی‌متر)، I: مقدار آب آبیاری (میلی‌متر) و  $P_e$ : بارندگی مؤثر (تعیین شده با استفاده از روش وزارت کشاورزی ایالات متحده بر حسب میلی‌متر) است. همچنین R و D به‌ترتیب مقدار رواناب و عمق آب زهکشی شده (یا نفوذ عمیق و دورتر از ناحیه ریشه)

(2014). در پژوهشی دیگر Bastos et al. (2002) اثر آبیاری را بر رشد و توسعه لوبیای چشم‌بلیلی با استفاده از مدل DSSAT بررسی نمودند و گزارش کردند که مدل، ارزیابی خوبی را برای شبیه‌سازی اجزای عملکرد، به جز وزن ۱۰۰ دانه، که خطای آن از ۲۰/۹ درصد تا ۳۴/۳ درصد متغیر بود، ارائه کرد و با در نظر گرفتن مقادیر متوسط عملکرد محصول در دو سال، مدل خطای ۵/۶ درصدی داشت. (Chisanga et al. (2015) در پژوهشی عملکرد ذرت در شرایط آبیاری و تاریخ‌های مختلف کاشت با استفاده از مدل DSSAT در کشور چین بررسی شد و نتایج نشان داد که سازگاری بالایی بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده وجود داشت و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی از ۰/۷۷ تا ۲۱/۶ درصد برای ارزیابی عملکرد مدل متغیر بود. با توجه به نتایج پژوهش‌ها مشخص شد که مدل DSSAT قادر است به‌طور دقیق رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت رژیم‌های مختلف آبیاری شبیه‌سازی نماید. لذا استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و توسعه گیاه زراعی برای مدیریت تولید و تصمیم‌گیری در آینده، دارای اهمیت ویژه‌ای است. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و کارایی مدل DSSAT برای شبیه‌سازی رشد و تخمین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب لوبیای چشم‌بلیلی در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

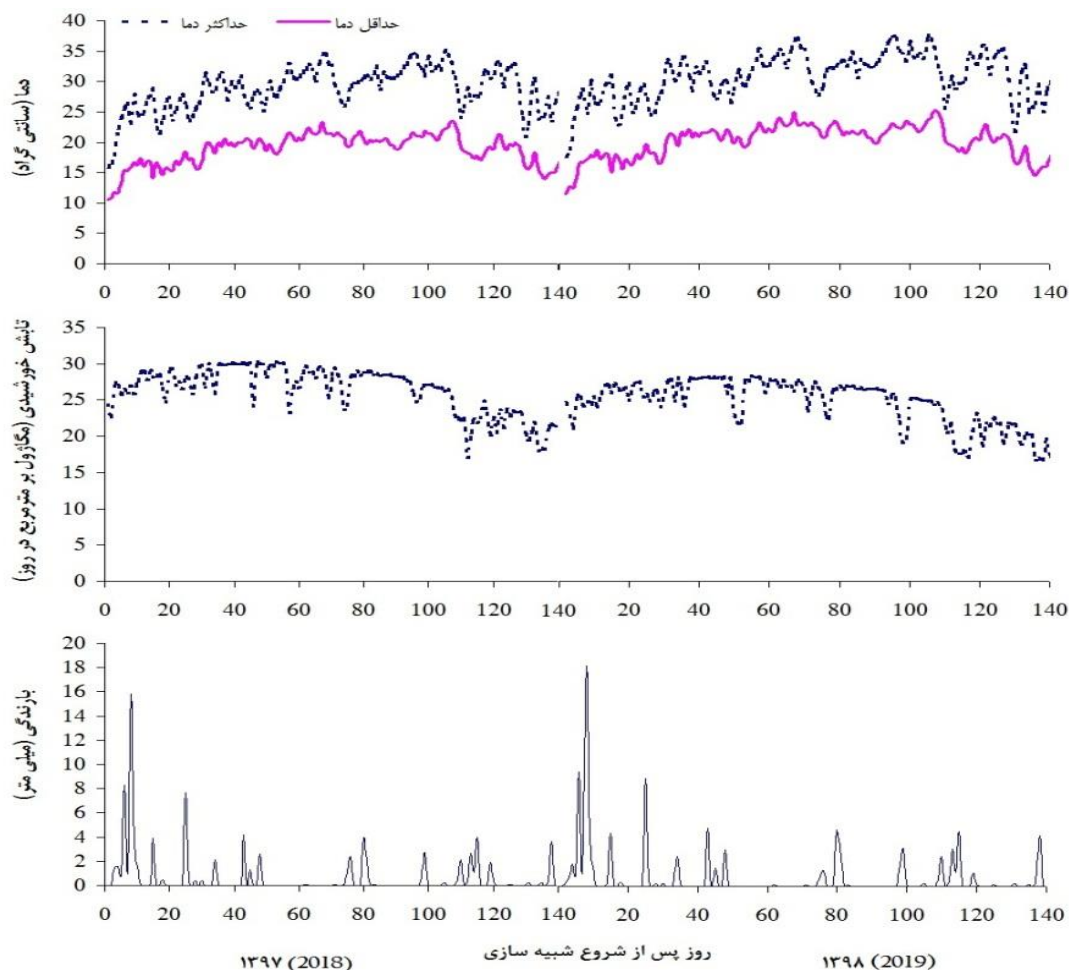
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- روش اجرای پژوهش و تیمارهای مورد مطالعه

این آزمایش به مدت دو فصل زراعی متوالی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در استان گیلان و در شهرستان آستان اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۴ دقیقه، با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا انجام شد. منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای مرطوب بوده و حداکثر و حداقل دما، میزان بارندگی و تابش خورشیدی در طول فصل رشد آن در شکل ۱ ارائه شده است. میزان بارندگی در طی فصل رشد لوبیای چشم‌بلیلی در سال اول و دوم به‌ترتیب ۹۳ و ۹۴ میلی‌متر بود. این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و عوامل اصلی در آن، آبیاری در سه سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی ( $I_1$ )، ۷۵ درصد نیاز آبی ( $I_2$ ) و ۵۰ درصد نیاز آبی ( $I_3$ ) و تیمار فرعی سه رقم لوبیای چشم‌بلیلی، شامل رقم کامران ( $C_1$ )، رقم محلی خوزستان ( $C_2$ ) و رقم محلی دهسر ( $C_3$ ) بود. قبل از آماده‌سازی زمین، جهت ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، از نقاط مختلف مزرعه در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد (جدول ۱). زمان کاشت بذرهای هر سه رقم در فصول زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به‌ترتیب ۱۴ و ۱۵ اردیبهشت ماه

<sup>1</sup> Maximum Allowable Depletion

<sup>2</sup> United States Department of Agriculture (USDA)



شکل ۱- متغیرهای هواشناسی اندازه‌گیری شده از شروع شبیه‌سازی برای منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Figure 1- Meteorological variables measured from the beginning of the simulation for the study area in 2018 and 2019

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1- Physicochemical characteristics of the studied field soil

سال	عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	رس سیلت (درصد)	شن
۱۳۹۷	0-30	لوم	0.621	0.690	0.084	7.45	231	15	34
2018	30-60	لوم	0.646	0.660	0.082	7.18	332	19	31
۱۳۹۸	0-30	لوم	0.632	0.680	0.086	7.33	230	17	33
2019	30-60	لوم	0.657	0.670	0.089	7.23	239	18	32

رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (درصد)، رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (درصد) و وزن مخصوص ظاهری (گرم بر مترمکعب) در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر به ترتیب ۰.۲۴/۶، ۱۲/۱ و ۱/۴۶ و در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب ۰.۲۴/۷، ۱۳/۳ و ۱/۴۷ بود.

$$WP_{I+R} = \frac{Y}{I+R} \quad (5)$$

که در آن،  $WP_T$ : میزان بهره‌وری بر اساس تعرق،  $WP_{ET}$ : میزان بهره‌وری بر اساس تبخیر و تعرق،  $WP_{I+R}$ : میزان بهره‌وری آب بر اساس آب مصرفی (آبیاری+بارندگی)،  $T$ : میزان تعرق (میلی‌متر)،  $E$ : میزان تبخیر (میلی‌متر)،  $I$ : میزان آب آبیاری (میلی‌متر)،  $R$ : بارندگی (میلی‌متر) و  $Y$ : مقدار عملکرد بر حسب کیلوگرم بر هکتار است.

و  $\Delta S$  نیز نشان‌دهنده تغییرات ذخیره رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر است که جهت تعیین آن، پس از هر نوبت آبیاری، از کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری رطوبتی انجام پذیرفت. تبخیر و تعرق گیاه مرجع یا پتانسیل ( $ET_0$ ) با روش پنمن مانیتیت و با استفاده از مدل کراپ وات محاسبه شد. محاسبه میزان بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) با رابطه‌های ۳ تا ۵ تعیین شد.

$$WP_T = \frac{Y}{T} \quad (3)$$

$$WP_{E+T} = \frac{Y}{E+T} \quad (4)$$

در رابطه‌های ۶ تا ۱۲:  $\bar{S}$ ,  $\bar{M}$ ,  $S$ ,  $M$  و  $n$  به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده، شبیه‌سازی شده، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده و تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده است. در ارزیابی میزان عملکرد شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، اگر مقادیر میانگین خطای نسبی<sup>۱</sup> (MRE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، به صفر و مقادیر شاخص توافق یا سازگاری (d) و ضریب کارایی<sup>۴</sup> (EF) به یک نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر مدل است (Willmott, 1982; Singh et al., 2008). اگر ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RMSE<sub>n</sub>)<sup>۴</sup> کم‌تر از ۱۰ درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف است (Jamieson et al., 1991; Yang et al., 2014). میزان شاخص حداکثر خطا (ME)<sup>۵</sup>، نشان‌دهنده بیش‌ترین خطا بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای است که هرچه کم‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل است. شاخص ضریب باقی‌مانده (CRM)<sup>۶</sup>، برآورد کم‌تر یا بیش از حد را در مقایسه با شرایط اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد و هر چه به صفر نزدیک باشد، دقت بالاتر خواهد بود (Walpole et al., 1998).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ارزیابی مدل DSSAT در لوبیای چشم‌بلبلی

داده‌های اندازه‌گیری شده طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای ارزیابی مدل DSSAT در لوبیای چشم‌بلبلی در مزرعه انجام شد. در مدل، عملکرد دانه، غلاف و زیست‌توده شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای تیمارهای مختلف آبیاری بررسی شد. ضرایبی که ویژگی‌های لوبیای چشم‌بلبلی را در مدل تعریف می‌کنند، در جدول ۲ ارائه شده است.

با آبیاری کامل و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مقدار عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف در ارقام لوبیای چشم‌بلبلی افزایش یافت و مدل توانست روند تغییرات عملکرد را در نیازهای آبی مختلف شبیه‌سازی کند. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که مقدار خطای نسبی (MRE) بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده در عملکرد زیست‌توده در سال ۱۳۹۷ بین ۱/۱۹- تا ۰/۵۴- درصد و در سال ۱۳۹۸ بین ۱/۲۰- تا ۰/۵۴- درصد متغیر بود (جدول ۳). مقادیر مذکور برای عملکرد دانه در سال ۱۳۹۷ بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۴ درصد و در سال ۱۳۹۸ بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۴ درصد متغیر بود.

#### ۳-۲- ساختار مدل و داده‌های مورد نیاز برای اجرا

مدل DSSAT قادر است تأثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و تصمیمات مدیریتی مزرعه را ارزیابی نماید. این مدل رشد، توسعه و عملکرد را بر اساس تجمع خاک-گیاه-اتمسفر برآورد می‌کند و برای هر لایه خاک، جذب آب توسط ریشه و جریان آب در خاک شبیه‌سازی انجام می‌شود. این مدل یک پروفیل خاک را با لایه‌های افقی متفاوت در شرایط ظرفیت نگهداری و تراکم ریشه در نظر می‌گیرد (White and Hoogenboom, 2010) و در آن تبخیر و تعرق بالقوه با روش پنمن مانیتث فائو-۵۶ (Allen et al., 1998) و یا با روش پریستلی-تیلور (Priestley and Physics 1972) و با استفاده از داده‌های آب و هوایی و شرایط کانوپی گیاه محاسبه می‌شود. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل شامل موقعیت مکانی (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین درجه حرارت سالانه) و اطلاعات هواشناسی (داده‌های روزانه درجه حرارت حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی) و اطلاعات خاک‌شناسی (بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هر یک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی) و عملیات زراعی (نوع رقم و تیپ آن، تاریخ و عمق کاشت، فاصله خطوط، تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری، مقدار آب آبیاری) است.

#### ۳-۲-۴- تحلیل‌های آماری برای ارزیابی دقت مدل

ارزیابی نتایج مدل با استفاده از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری انجام شد. مقایسه مقادیر و پراکنش داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با نمودار و خط ۱:۱ نشان داده شد. برای مقایسه آماری بین نتایج، از شاخص‌های آماری موجود در رابطه‌های ۶ تا ۱۲ استفاده شد.

$$MRE = \frac{M_i - S_i}{M_i} \times 100 \quad (6)$$

$$RMSE = \left( \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{0.5} \quad (7)$$

$$RMSE_n = \left[ \left( \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{M} \right] \times 100 \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (9)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M - \bar{M}|)^2} \quad (10)$$

$$ME = \max \frac{100}{\bar{M}} |S_i - M_i| \quad (11)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (12)$$

<sup>1</sup> Mean Relative Error

<sup>2</sup> Root Mean Square Error

<sup>3</sup> Index of Agreement

<sup>4</sup> Coefficient of Efficiency

<sup>5</sup> Normalized Root Mean Square Error

<sup>6</sup> Maximum Error

<sup>7</sup> Coefficient of Residual Mass

به‌طور متوسط میزان خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای عملکرد زیست‌توده به ترتیب  $-0/88$  و  $-0/89$  درصد، برای عملکرد دانه به ترتیب  $0/10$  و  $0/09$  درصد و برای عملکرد غلاف به ترتیب  $-0/45$  و  $-0/44$  درصد بود (جدول ۳).

جدول ۲- شاخص‌های اندازه‌گیری شده و واسنجی شده در سه رقم لوبیا چشم‌بلبلی  
Table 2- Measured and recalibrated indices in three cowpea cultivars

منابع شاخص‌ها	واحد	مقادیر برای ارقام			تعریف ضرایب
		کامران	محلی خوزستان	محلی دهرس	
واسنجی		38.14	38.14	38.14	زمان بین رویش گیاه و ظهور گل ( $R_1$ )
پیش‌فرض		2.5	2.5	2.5	زمان بین اولین گل و اولین غلاف ( $R_3$ )
واسنجی	photothermal days	5.2	5.2	5.2	زمان بین اولین گل و اولین دانه ( $R_5$ )
واسنجی		48.17	48.17	48.1	زمان بین اولین دانه ( $R_5$ ) و بلوغ فیزیولوژیکی ( $R_7$ )
پیش‌فرض		17	17	17	زمان بین اولین گل ( $R_1$ ) و انتهای انبساط برگ
اندازه‌گیری شده	cm <sup>2</sup> /g	68	68	67	سطح برگ خاص رقم در شرایط رشد استاندارد
اندازه‌گیری شده	cm <sup>2</sup>	233	233	233	حداکثر اندازه برگ کامل
واسنجی	-	1	1	1	حداکثر کسری از رشد روزانه تقسیم بر دانه + پوسته
اندازه‌گیری شده	g	0.09	0.08	0.08	حداکثر وزن در هر دانه
واسنجی	photothermal days	13	13.5	13.5	مدت پر شدن بذر برای گروه غلاف در شرایط رشد استاندارد
اندازه‌گیری شده	-	15.5	15.2	15.2	میانگین بذر در هر غلاف در شرایط رشد استاندارد
واسنجی	-	30	30	30	زمان مورد نیاز رقم برای رسیدن به بار نهایی غلاف در شرایط بهینه
واسنجی	-	77.7	77.6	77.6	حداکثر نسبت (دانه/دانه+پوسته) در بلوغ

جدول ۳- درصد خطای نسبی و مقادیر عملکرد و شاخص برداشت در شرایط شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای  
Table 3- Relative error percentage, yield values, and harvest index in simulated and observed conditions

شاخص برداشت (درصد)		عملکرد غلاف (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)		تیمارها
1398	1397	1398	1397	1398	1397	1398	1397	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
0.31	0.31	1956	1940	1547	1534	4977	4923	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
0.29	0.28	1797	1727	1422	1367	4962	4869	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
0.27	0.28	1620	1701	1283	1347	4803	4849	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
0.31	0.31	1557	1568	1230	1237	4009	3978	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
0.29	0.29	1423	1414	1123	1117	3886	3807	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
0.27	0.28	1267	1277	997	1005	3638	3554	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
0.27	0.28	826	916	649	719	2389	2529	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
0.27	0.28	775	856	606	668	2241	2361	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
0.25	0.27	724	768	557	590	2207	2223	میانگین
0.28	0.29	1327	1352	1046	1065	3679	3677	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
0.32a	0.32a	1943a	1927a	1549a	1536a	4920a	4867a	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
0.29b	0.29c	1786b	1717b	1424b	1369b	4903a	4812a	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
0.27d	0.28d	1611c	1691c	1284c	1349b	4747b	4792b	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
0.31b	0.31a	1549d	1560d	1231c	1238c	3972c	3942c	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
0.29b	0.30b	1416e	1407e	1124d	1118d	3850c	3773d	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
0.28c	0.29c	1262f	1272f	998e	1006e	3606d	3524e	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
0.27d	0.29c	824g	913g	649f	719f	2375e	2514f	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
0.27d	0.29c	773h	854h	606g	668g	2229f	2348g	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
0.25e	0.27e	722i	766i	557h	590h	2195g	2211h	میانگین
0.28	0.29	1321	1345	1047	1066	3644	3643	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
1.27	1.27	-0.67	-0.67	0.13	0.13	-1.16	-1.15	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
1.03	1.40	-0.62	-0.58	0.14	0.15	-1.20	-1.18	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
1.48	1.42	-0.56	-0.59	0.08	0.15	-1.18	-1.19	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
0.97	0.96	-0.52	-0.51	0.08	0.08	-0.93	-0.91	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
1.03	1.01	-0.49	-0.50	0.09	0.09	-0.94	-0.90	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
1.08	1.05	-0.40	-0.39	0.10	0.10	-0.89	-0.85	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
0.37	0.70	-0.24	-0.33	0.06	0.07	-0.59	-0.60	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
0.74	0.70	-0.26	-0.23	0.06	0.06	-0.54	-0.55	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
0.79	0.75	-0.28	-0.26	0.06	0.06	-0.55	-0.54	میانگین
0.97	1.03	-0.45	-0.45	0.07	0.08	-0.89	-0.88	

حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معناداری در بین تیمارها است ( $p < 0.01$ ).



با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد، نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای مدل در برآورد رطوبت برای تیمارهای مختلف، بسته به عمق بین ۱/۷ تا ۱۳/۶ درصد رطوبت حجمی بود و خطای متوسط مجذور مربعات استاندارد برای تیمار کم‌آبایی در برآورد کل آب خاک ۹/۸۸۷ و برای تیمار آبیاری کامل ۱۳/۰۷۶ درصد بود و به‌طور کلی، با توجه به ماهیت حرکت آب در خاک و نتایج به‌دست آمده، مدل DSSAT برای استفاده در شرایط کم‌آبایی قابل توصیه است (Dokoochaki et al., 2012).

با توجه به جدول ۶ شاخص ضریب کارایی (EF) در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در عملکرد زیست‌توده برای رقم کامران، خوزستان و دهرس، بین ۰/۹۹۸۳۵ و ۰/۹۹۸۷۲ بود. از آن‌جایی که شاخص ضریب کارایی، بین منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است، از این‌رو مقادیر شبیه‌سازی شده حاکی از قابل اطمینان بودن نتایج دارد. شاخص توافق ویلموت (d) برای عملکرد زیست‌توده و دانه در ارقام لوبیای چشم‌بلبلی در سال‌های مورد مطالعه از ۰/۹۹۸ تا ۰/۹۹۹ متغیر بود که نزدیک بودن این شاخص به عدد یک، نشان‌دهنده قابل اطمینان بودن مقادیر شبیه‌سازی شده است. شاخص حداکثر خطا، نشان‌دهنده بیش‌ترین خطا بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای است، لذا هر چه این شاخص کمتر باشد، مدل کارایی بهتری خواهد داشت. در تمام ارقام، این شاخص از دقت خوبی برخوردار بود. بررسی شاخص ضریب جرم باقی‌مانده در عملکرد زیست‌توده و دانه در تمام ارقام منفی به‌دست آمد که نشان‌دهنده تخمین بیش از حد مدل است. در تمام تیمارها، مقادیر به‌دست آمده نزدیک به صفر بود که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی شاخص‌های اندازه‌گیری شده است (جدول ۶). ریشه میانگین مربعات در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده بر اساس آب مصرفی، برای ارقام کامران، خوزستان و دهرس در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۰۱۰۶، ۰/۰۱۰۷۸ و ۰/۰۱۰۸۷ و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۰۱۰۴۴، ۰/۰۱۰۷۹ و ۰/۰۱۰۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. شاخص ضریب کارایی در طی دو سال در بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده در ارقام کامران، محلی خوزستان و محلی دهرس بین ۰/۸۹۳۵ و ۰/۹۷۲۶ و برای عملکرد دانه بین ۰/۰۰۰۲۹ و ۰/۰۰۰۳۸ متغیر بود. در حالی که این تغییرات در بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد غلاف بین ۰/۰۰۱۶۹ و ۰/۰۰۲۲۹ متغیر بود (جدول ۶).

با توجه به جدول ۴، میانگین میزان خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در بهره‌وری آب بر مبنای آب مصرفی در عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف، در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۹۵-، ۰/۲۹ و ۰/۴۷- درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۶۷-، ۰/۰۰۱ و ۰/۴۰- درصد بود. مقادیر مذکور در بهره‌وری آب بر مبنای تعرق و همچنین بر مبنای تبخیر و تعرق در عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف، در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۸۸-، ۰/۰۸ و ۰/۴۵- درصد و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۸۹-، ۰/۰۷ و ۰/۴۵- درصد بود که حاکی از ارزیابی مناسب مدل در شرایط شبیه‌سازی و مشاهده‌ای دارد. در پژوهشی تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی بر رشد و عملکرد ذرت با مدل CERES-Maize ارزیابی شد و نتایج نشان داد که در تیمارهای مورد بررسی، میزان تبخیر و تعرق تجمعی دارای روند تقریباً مشابهی داشت و در شرایط مزرعه‌ای و شبیه‌سازی شده، در ابتدای فصل رشد میزان تبخیر و تعرق تجمعی متناسب با میزان شاخص سطح برگ و وزن خشک کل گیاه ناچیز بود، ولی در ادامه با توسعه اندام‌های هوایی و همچنین تغییرات شرایط آب و هوایی به‌صورت خطی تا انتهای دوره رشد افزایش یافت و میزان تبخیر و تعرق تجمعی در شرایط مزرعه‌ای و شبیه‌سازی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت و با افزایش میزان آب آبیاری، میزان تبخیر و تعرق تجمعی نیز افزایش یافت (Mondani et al., 2021).

### ۳-۲- اجزای بیلان آب

در جدول ۵، مؤلفه‌های تعادل آب خاک در آزمایش مزرعه‌ای نشان داده شده است. بررسی اجزای بیلان آب و عملکرد لوبیای چشم‌بلبلی نشان داد که در تیمارهای کم‌آبایی به دلیل تنش آبی، تعرق گیاه کاهش یافته است. با توجه به نیاز آبی و مقدار آبیاری، میزان آبیاری اعمال شده بین ۱۹۵ تا ۴۴۰ میلی‌متر برای سال ۱۳۹۷ و بین ۱۹۵ و ۴۵۰ میلی‌متر برای سال ۱۳۹۸ متغیر بود. بر اساس نتایج شبیه‌سازی شده، با افزایش نیاز آبی، عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ افزایش داشت. همچنین بین عملکرد دانه و تنش آبیاری ارتباط منفی وجود داشت. با توجه به مقادیر آبیاری، در سال ۱۳۹۷، نرخ تبخیر از ۳۳۸ تا ۴۶۳ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۸ از ۳۳۸ تا ۴۶۸ میلی‌متر متغیر بود. بدیهی است با افزایش آب آبیاری، میزان تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد. کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق با ۳۳۸ میلی‌متر برای تیمار  $I_3C_3$  ثبت شد که در نیاز آبی ۵۰ درصد و رقم محلی دهرس بود. از سوی دیگر، بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در تیمار  $I_1C_1$  و در شرایط آبیاری کامل و رقم کامران رخ داد. در پژوهشی کارایی و دقت مدل DSSAT در برآورد رطوبت پروفیل خاک تحت دو سطح کم‌آبایی و آبیاری کامل در مزرعه ذرت علوفه‌ای بررسی شد و شبیه‌سازی رطوبت در نیم‌رخ خاک

جدول ۴- درصد خطای نسبی و مقادیر بهره‌وری آب در شرایط شبیه‌سازی شده و مشاهداتی

Table 4- Relative error percentage and water productivity values in simulated and observed conditions

میزان بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) بر مبنای تعرق در عملکرد				میزان بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) بر مبنای تبخیر و تعرق در عملکرد				میزان بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) بر مبنای آب مصرفی در عملکرد				تیمارها						
غلاف		دانه		زیست‌توده		غلاف		دانه		زیست‌توده		غلاف		دانه		زیست‌توده		
۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	
شرایط شبیه‌سازی شده																		
0.88	0.88	0.70	0.70	2.24	2.24	0.42	0.42	0.33	0.33	1.06	1.06	0.44	0.44	0.34	0.35	1.11	1.12	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
0.80	0.77	0.63	0.61	2.20	2.17	0.38	0.37	0.30	0.29	1.06	1.05	0.42	0.41	0.33	0.33	1.15	1.16	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
0.71	0.74	0.56	0.59	2.10	2.11	0.35	0.37	0.28	0.29	1.04	1.05	0.41	0.43	0.32	0.34	1.20	1.23	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
0.77	0.79	0.61	0.62	1.99	2.00	0.37	0.37	0.29	0.29	0.94	0.94	0.46	0.48	0.36	0.37	1.19	1.21	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
0.70	0.71	0.56	0.56	1.92	1.90	0.34	0.34	0.27	0.27	0.92	0.91	0.44	0.45	0.35	0.35	1.20	1.21	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
0.64	0.65	0.50	0.51	1.83	1.80	0.31	0.32	0.25	0.25	0.90	0.88	0.42	0.43	0.33	0.34	1.21	1.20	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
0.52	0.56	0.41	0.44	1.49	1.55	0.23	0.26	0.18	0.21	0.67	0.73	0.37	0.42	0.29	0.33	1.06	1.15	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
0.50	0.54	0.39	0.42	1.44	1.48	0.22	0.25	0.18	0.20	0.65	0.69	0.36	0.41	0.28	0.32	1.04	1.12	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
0.46	0.49	0.35	0.38	1.41	1.42	0.21	0.23	0.16	0.17	0.65	0.66	0.36	0.39	0.28	0.30	1.10	1.13	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
0.66	0.68	0.52	0.54	1.85	1.85	0.32	0.33	0.25	0.26	0.88	0.89	0.41	0.43	0.32	0.34	1.14	1.17	میانگین
شرایط مشاهده شده																		
0.88	0.88	0.70a	0.70a	2.22a	2.21a	0.42a	0.42a	0.33a	0.33a	1.05a	1.05a	0.43c	0.44c	0.34c	0.35b	1.09f	1.11g	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
0.79	0.77	0.63b	0.61c	2.17b	2.15b	0.38b	0.37b	0.30b	0.30b	1.05a	1.04b	0.42d	0.41f	0.33d	0.33d	1.14d	1.15d	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
0.70	0.74	0.56d	0.59d	2.07c	2.08c	0.35d	0.37b	0.28d	0.29c	1.03b	1.04b	0.40e	0.43d	0.32e	0.34c	1.19b	1.21a	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
0.77	0.78	0.61c	0.62b	1.98d	1.98d	0.36c	0.37b	0.29c	0.29c	0.93c	0.93c	0.46a	0.47a	0.36a	0.38a	1.18c	1.19c	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
0.70	0.70	0.56d	0.56e	1.91e	1.89e	0.33e	0.34c	0.27e	0.27d	0.91d	0.90d	0.44b	0.45b	0.35b	0.35b	1.19b	1.20b	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
0.63	0.65	0.50e	0.51f	1.81f	1.79f	0.31f	0.32d	0.25f	0.25e	0.89e	0.87e	0.42d	0.43d	0.33d	0.34c	1.20a	1.19c	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
0.52	0.56	0.41f	0.44g	1.48g	1.54g	0.23g	0.26e	0.18g	0.21f	0.67f	0.72f	0.37f	0.42e	0.29f	0.33d	1.06g	1.14e	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
0.50	0.54	0.39g	0.42h	1.43h	1.48h	0.22h	0.25f	0.18g	0.20g	0.65g	0.69g	0.36g	0.41f	0.28g	0.32e	1.04h	1.12f	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
0.46	0.49	0.35h	0.38i	1.40i	1.41i	0.21i	0.23g	0.16h	0.17h	0.65g	0.65h	0.36g	0.39g	0.28g	0.30f	1.10e	1.12f	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
0.66	0.68	0.52	0.54	1.83	1.84	0.31	0.32	0.25	0.26	0.87	0.88	0.41	0.43	0.32	0.34	1.13	1.16	میانگین
درصد خطای نسبی																		
-0.67	-0.67	0.13	0.13	-1.16	-1.15	-0.67	-0.67	0.13	0.13	-1.16	-1.15	-0.69	-0.68	0.001	0.001	-1.83	-0.90	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
-0.62	-0.58	0.14	0.15	-1.20	-1.18	-0.62	-0.58	0.14	0.15	-1.20	-1.18	-0.72	-0.49	0.002	0.001	-0.88	-0.87	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
-0.56	-0.59	0.08	0.15	-1.18	-1.19	-0.56	-0.59	0.08	0.15	-1.18	-1.19	-0.50	-0.70	0.002	0.001	-0.84	-1.65	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
-0.52	-0.51	0.08	0.08	-0.93	-0.91	-0.52	-0.51	0.08	0.08	-0.93	-0.91	-0.44	-0.42	0.001	2.632	-0.85	-1.68	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
-0.49	-0.50	0.09	0.09	-0.94	-0.90	-0.49	-0.50	0.09	0.09	-0.94	-0.90	-0.46	-0.45	0.001	0.001	-0.84	-0.83	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
-0.40	-0.39	0.10	0.10	-0.89	-0.85	-0.40	-0.39	0.10	0.10	-0.89	-0.85	-0.24	-0.47	0.001	0.001	-0.83	-0.84	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
-0.24	-0.33	0.00	0.00	-0.59	-0.60	-0.24	-0.33	0.00	0.00	-0.59	-0.60	-0.27	-0.24	0.001	0.001	0.00	-0.88	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
-0.26	-0.23	0.00	0.00	-0.54	-0.55	-0.26	-0.23	0.00	0.00	-0.54	-0.55	0.00	-0.49	0.001	0.001	0.00	0.00	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
-0.28	-0.26	0.00	0.00	-0.55	-0.54	-0.28	-0.26	0.00	0.00	-0.55	-0.54	-0.28	-0.26	0.001	0.001	0.00	-0.89	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
-0.45	-0.45	0.07	0.08	-0.89	-0.88	-0.45	-0.45	0.07	0.08	-0.89	-0.88	-0.40	-0.47	0.001	0.29	-0.67	-0.95	میانگین

حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معناداری در بین تیمارها است ( $p < 0.01$ ).

جدول ۵- اجزای بیلان آب در مدیریت‌های مختلف آبیاری

Table 5- Water balance components in different irrigation management

ذخیره رطوبت خاک (میلی‌متر)		نفوذ عمقی (میلی‌متر)		آب مصرفی (میلی‌متر)		تبخیر (میلی‌متر)		تعرق (میلی‌متر)		تبخیر و تعرق (میلی‌متر)		بارش (میلی‌متر)		آبیاری (میلی‌متر)		تیمارها
۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱
		۸	۷	۸	۷	۸	۷	۸	۷			۸	۷	۸	۷	
68	67	8	3	544	533	246	243	222	220	468	463	94	93	450	440	I <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
48	46	8	3	524	513	242	239	226	224	468	464	94	93	430	420	I <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
26	25	7	3	494	488	231	230	229	230	461	460	94	93	400	395	I <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
-2	-2	8	3	432	423	225	223	201	199	426	422	94	93	338	330	I <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
-14	-14	8	3	417	408	221	219	202	200	423	419	94	93	323	315	I <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
-17	-17	5	3	394	389	207	206	199	197	406	403	94	93	300	296	I <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
-40	-48	5	3	319	303	194	186	160	163	354	348	94	93	225	210	I <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
-51	-51	5	3	299	293	189	183	156	159	345	341	94	93	205	200	I <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
-54	-53	5	3	289	288	181	181	157	157	338	338	94	93	195	195	I <sub>3</sub> C <sub>3</sub>

ارقام لویبای چشم‌بلیلی در هر سه رقم کامران، رقم محلی خوزستان و رقم محلی دهسر از دقت خوبی در سال‌های مورد مطالعه برخوردار بود و ارزیابی سایر شاخص‌های مورد استفاده نیز مؤید برآورد مناسب

در جدول ۷، تحلیل آماری و دقت برآورد مدل نشان‌دهنده آن است که ریشه میانگین مربعات در شبیه‌سازی بهره‌وری آب بر مبنای تعرق و تبخیر و تعرق مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف در

پژوهشی (Nouri et al. (2022) گزارش نمودند که مدل DSSAT در شرایط تنش آبی حساسیت زیادی به انتخاب مدل تبخیر و تعرق دارد. (Attia et al. (2022) مدل DSSAT را در گیاه ذرت برای شرایط زمانی طولانی مدت بررسی نموده و گزارش کردند که این مدل عملکرد دانه، تبخیر و تعرق محصول و محتوای رطوبت خاک را در پاسخ به تیمارهای مختلف آبیاری به خوبی شبیه‌سازی کرد و کاربرد مدل در بلندمدت نشان داد که برنامه‌ریزی آبیاری در فواصل زمانی ثابت در محیط خشک، کارآمدتر از فواصل متغیر برای بهره‌وری مصرف آب در عملکردها است.

مدل در انواع بهره‌وری آب است. در پژوهشی-Ramezani- Vasokolaei et al. (2022) تأثیر مدیریت سطح ایستابی بر عملکرد برنج و اجزای آن را با استفاده از مدل DSSAT شبیه‌سازی نمودند و گزارش کردند که در هر دو مرحلهٔ واسنجی و صحت‌سنجی، مدل از کارایی مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه برخوردار بود و در مرحلهٔ واسنجی و صحت‌سنجی، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب در محدودهٔ  $0.7 - 1.6$  و  $0.7 - 1.6$  درصد و شاخص توافق ویلموت به ترتیب در محدودهٔ  $0.78 - 0.99$  و  $0.82 - 0.99$  قرار داشت. در

جدول ۶- تحلیل آماری و دقت برآورد مدل در شبیه‌سازی عملکردها، شاخص برداشت، بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف

Table 6- Statistical analysis and model estimation accuracy in simulating yields, harvest index, and water use efficiency based on biomass, seed, and pod yield

سال ۱۳۹۸			سال ۱۳۹۷			
رقم محلی‌دهسر	رقم محلی‌خوزستان	رقم کامران	رقم محلی‌دهسر	رقم محلی‌خوزستان	رقم کامران	
0.99985	0.99986	0.99985	0.99985	0.99983	0.99982	d (%)
0.99867	0.99866	0.99855	0.99872	0.99851	0.99835	EF (%)
0.038074	0.040242	0.040038	0.037693	0.03904	0.03935	RMSE (t/ha)
1.08294	1.09928	1.06606	1.07417	1.07139	1.4275	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.00953	-0.00970	-0.00958	-0.00939	-0.00954	-0.00947	CRM (%)
1.60290	1.59941	1.5113/1	1.61309	1.55965	1.47349	ME (%)
0.99986	0.99987	0.99986	0.99986	0.99984	0.99983	d (%)
0.99999	0.99999	0.99998	0.99999	0.99998	0.99998	EF (%)
0.99640	1.22979	1.45971	1.07691	1.16748	1.46008	RMSE (t/ha)
0.10527	0.11697	0.12768	0.10971	0.11101	0.12537	RMSE <sub>n</sub> (%)
0.00093	0.00103	0.00112	0.00097	0.00100	0.00112	CRM (%)
0.15226	0.16906	0.18448	0.16192	0.15597	0.17825	ME (%)
0.99997	0.99997	0.99996	0.99997	0.99996	0.99995	d (%)
0.99973	0.99969	0.99964	0.99971	0.99961	0.99956	EF (%)
6.00482	7.42459	8.81350	6.49067	7.05141	8.79944	RMSE (t/ha)
0.50108	0.56028	0.61263	0.52218	0.53179	0.59990	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.00441	-0.00491	-0.00535	-0.00457	-0.00479	-0.00535	CRM (%)
72986/0	0.81215	0.88633	0.77580	0.74964	0.85514	ME (%)
0.98924	0.98821	0.99717	0.98567	0.97539	0.99430	d (%)
0.90947	0.89574	0.97327	0.87871	0.70577	0.94658	EF (%)
0.00291	0.00293	0.00303	0.00277	0.00302	0.00313	RMSE (%)
1.08880	0.02795	1.01219	0.99453	1.04497	1.02633	RMSE <sub>n</sub> (%)
0.01054	0.01007	0.00949	0.00970	0.01006	0.01006	CRM (%)
1.39000	1.22491	1.33121	1.26629	1.22441	1.21681	ME (%)
0.99535	0.99741	0.99535	0.99367	0.98895	0.98980	d (%)
0.94388	0.97265	0.95749	0.92519	0.89350	0.91424	EF (%)
0.01091	0.01079	0.01044	0.01087	0.01078	0.01060	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.93879	0.95994	0.94157	0.92616	0.93460	0.92398	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.00893	-0.00912	-0.00907	-0.00879	-0.00897	-0.00899	CRM (%)
1.22817	1.22830	1.15680	1.23704	1.18853	1.11694	ME (%)
0.99998	0.99999	0.99999	0.99998	0.99996	0.99996	d (%)
0.99985	0.99987	0.99988	0.99975	0.99958	0.99964	EF (%)
0.00029	0.00032	0.00036	0.00031	0.00032	0.00038	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.09215	0.10018	0.10818	0.09515	0.09675	0.10706	RMSE <sub>n</sub> (%)
0.00089	0.00095	0.00102	0.00092	0.00094	0.00103	CRM (%)
0.11421	0.12540	0.13604	0.12094	0.11453	0.13012	ME (%)
0.99955	0.99967	0.99968	0.99920	0.99894	0.99893	d (%)
0.99541	0.99660	0.99678	0.99091	0.98901	0.99062	EF (%)
0.00169	0.00195	0.00221	0.00184	0.00194	0.00229	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.42728	0.48094	0.52776	0.44213	0.46033	0.51866	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.00404	-0.00451	-0.00494	-0.00418	-0.00443	-0.00495	CRM (%)
0.55011	0.61640	0.67538	0.58456	0.56010	0.64386	ME (%)

داده شده است. در نتایج مشاهده شد که مدل DSSAT، شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده، دانه، غلاف و شاخص برداشت در شرایط ایده‌آل بود و نقاط مربوطه، نزدیک به خط ۱:۱ هستند،

در شکل ۲، مقایسهٔ مقادیر عملکرد زیست‌توده، دانه، غلاف و هم‌چنین شاخص برداشت در شرایط مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به وسیلهٔ مدل، در ارقام لوبیای چشم‌بلیلی با خط ۱:۱ نشان

کم‌آبیاری معمولاً به دلیل کاهش شاخص سطح برگ بوته‌های گیاه در شرایط کم‌آبیاری به‌واسطه محدودیت آب قابل دسترس برای گیاه و توانمندی گیاه در کنترل و کاهش تعرق با افزایش هورمون‌ها است. با توجه به کم شدن میزان تبخیر و تعرق در سطوح مختلف کم‌آبیاری، کاهش شاخص‌های فیزیولوژیک در گیاه لوبیای چشم‌بلیلی قابل انتظار است.

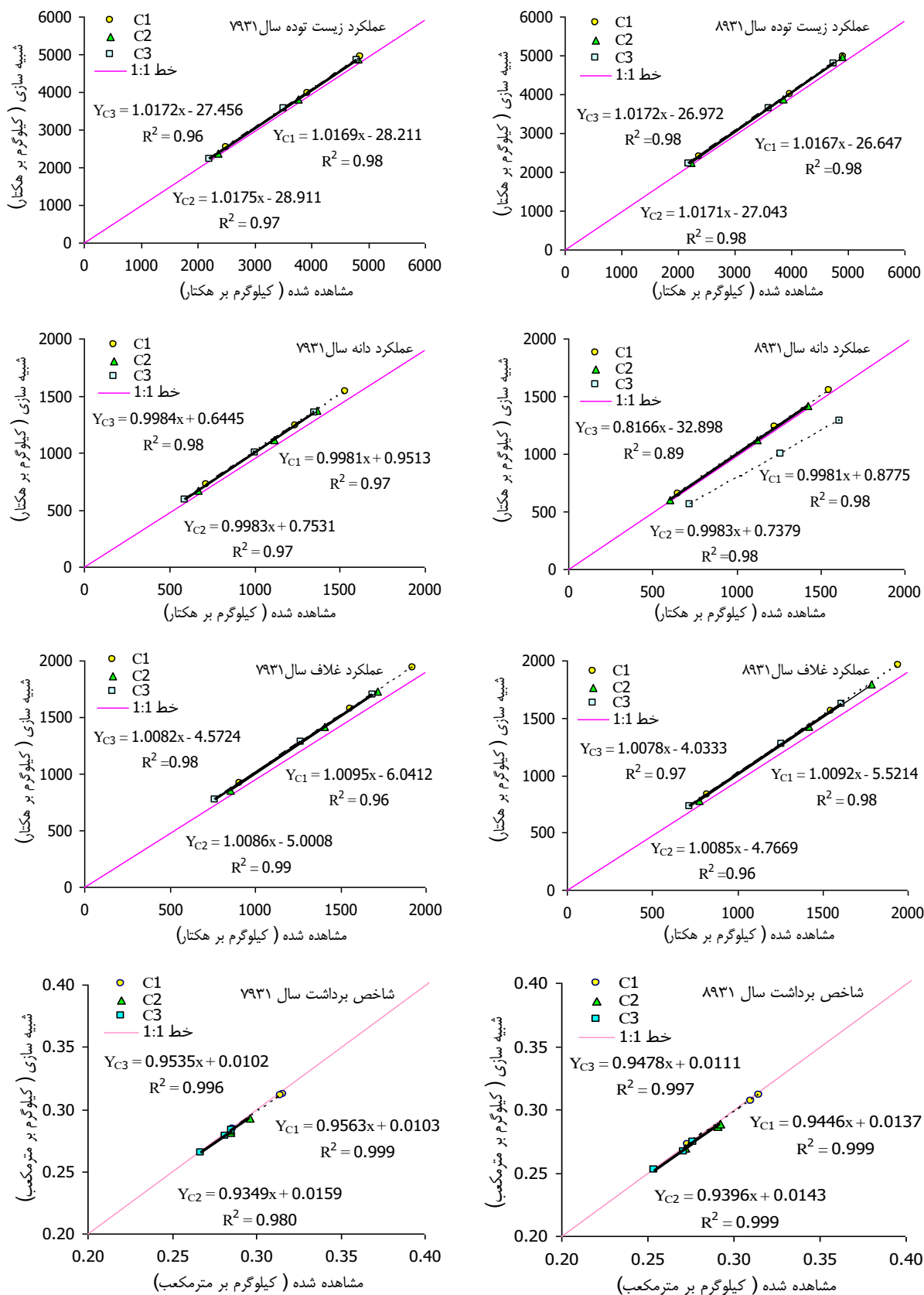
در شکل‌های ۴ و ۵، مقایسه میزان بهره‌وری آب بر اساس تعرق و تبخیر و تعرق مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف در شرایط مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل DSSAT، در ارقام لوبیای چشم‌بلیلی با خط ۱:۱ نشان داده شده است. نتایج حاکی از نزدیک بودن مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای به خط ۱:۱ بوده و میزان ضریب تبیین رگرسیون خطی نیز دارای دقت بالایی است.

می‌توان شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده، دانه، غلاف و شاخص برداشت را برای شرایط کم‌آبیاری در سال‌های مورد مطالعه، مطلوب ارزیابی کرد. تنش کمبود آب یکی از عوامل محدود کننده رشد در لوبیای چشم‌بلیلی است. مقدار آب مصرفی با توجه به تغییر وضعیت آب و هوا، مدیریت و طول فصل رشد متفاوت است. در شکل ۳، بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف نشان داده شده است و همان‌گونه که انتظار می‌رفت، با کاهش مقدار آب مورد نیاز، مقدار بهره‌وری افزایش داشت و مدل نیز با دقت قابل قبولی این موضوع را شبیه‌سازی نمود و در تمام ارقام مورد مطالعه، میزان ضریب تبیین ( $R^2$ ) از دقت بالایی برخوردار بود که کارکرد و استفاده از این مدل را در پیش‌بینی بهره‌وری مصرف آب در لوبیای چشم‌بلیلی مورد تأیید قرار می‌دهد. کم بودن میزان تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف

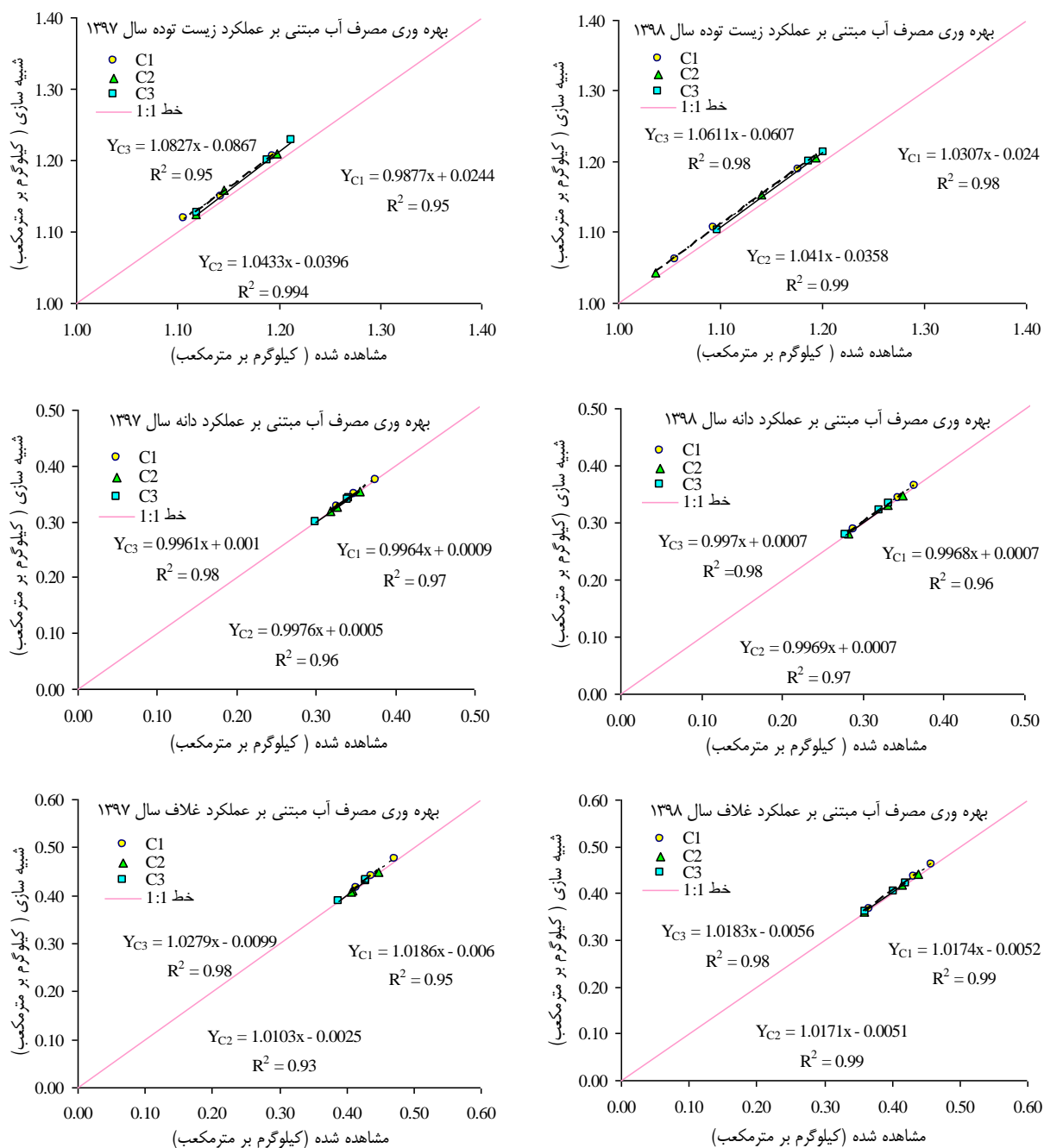
جدول ۷- تحلیل آماری و دقت برآورد مدل در شبیه‌سازی بهره‌وری آب بر مبنای تعرق و تبخیر و تعرق

Table 7- Statistical analysis and model estimation accuracy in simulating water productivity based on transpiration and evapotranspiration

رقم محلی دهسر		رقم محلی خوزستان		رقم کامران		بهره‌وری آب بر اساس
۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۷	
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	d (%)
0.997	0.997	0.997	0.996	0.997	0.996	EF (%)
0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
1.010	1.009	1.033	1.009	1.013	1.012	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.009	-0.009	-0.010	-0.009	-0.009	-0.010	CRM (%)
1.402	1.401	1.383	1.371	1.356	1.330	ME (%)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	d (%)
1.000	1.000	1.000	0.998	1.000	1.000	EF (%)
0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.435	0.418	0.328	0.792	0.374	0.361	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.002	-0.001	-0.003	-0.008	-0.001	-0.001	CRM (%)
0.435	0.418	0.402	0.793	0.375	0.362	ME (%)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	d (%)
1.000	1.000	0.999	1.000	0.999	0.999	EF (%)
0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.425	0.443	0.444	0.451	0.541	0.618	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.003	-0.003	-0.004	-0.004	-0.004	-0.006	CRM (%)
0.659	0.687	0.628	0.638	0.889	0.859	ME (%)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	d (%)
0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.995	EF (%)
0.017	0.018	0.019	0.019	0.019	0.019	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.981	0.992	1.052	1.008	1.020	1.002	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.009	-0.009	-0.010	-0.009	-0.010	-0.009	CRM (%)
1.363	1.421	1.472	1.415	1.374	1.360	ME (%)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	d (%)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	EF (%)
0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.173	0.116	0.110	0.109	0.101	0.098	RMSE <sub>n</sub> (%)
0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	CRM (%)
0.212	0.204	0.191	0.189	0.175	0.170	ME (%)
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	d (%)
0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	EF (%)
0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	RMSE (kg/m <sup>3</sup> )
0.492	0.508	0.516	0.440	0.585	0.584	RMSE <sub>n</sub> (%)
-0.005	-0.004	-0.005	-0.004	-0.005	-0.005	CRM (%)
0.668	0.803	0.755	0.598	0.833	0.811	ME (%)



شکل ۲- مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد زیست‌توده، دانه، غلاف و شاخص برداشت در ارقام لوبیای چشم‌بلیلی  
 Figure 2- Simulated and observed values of biomass yield, seed, pod, and harvest index in cowpea cultivars

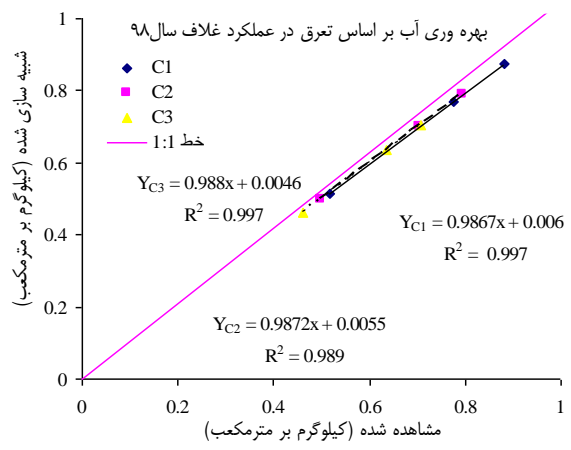
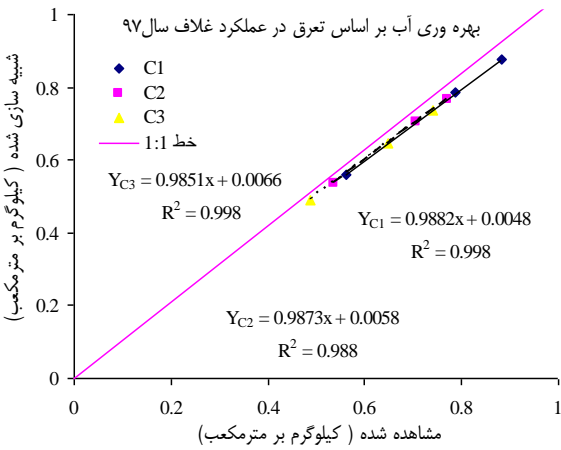
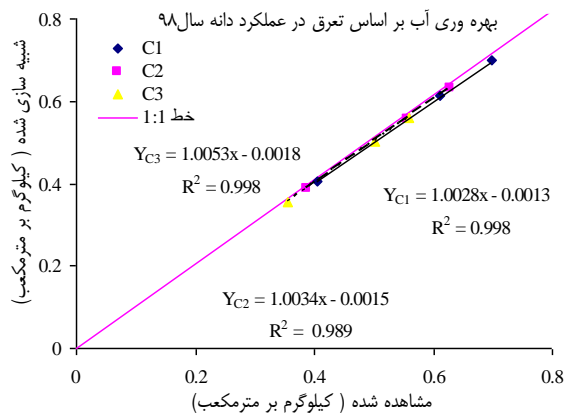
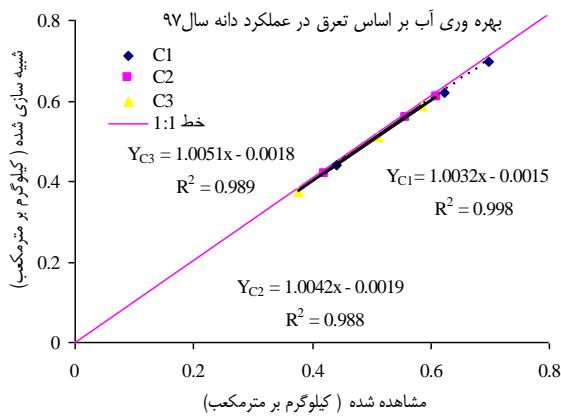
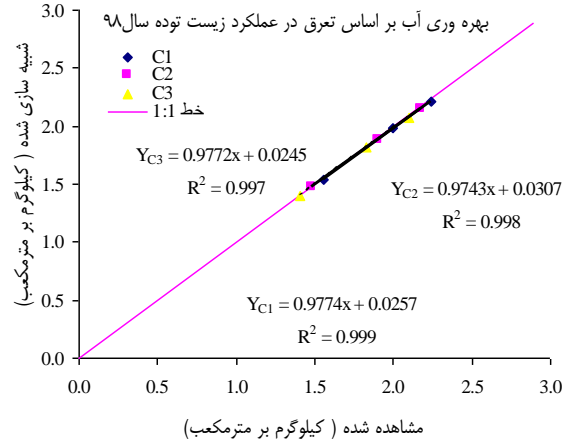
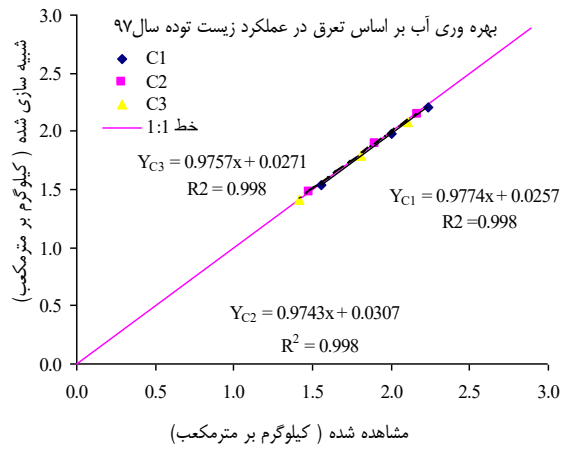


شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف

Figure 3- Simulated and observed values of water use efficiency based on biomass, seed, and pod yields

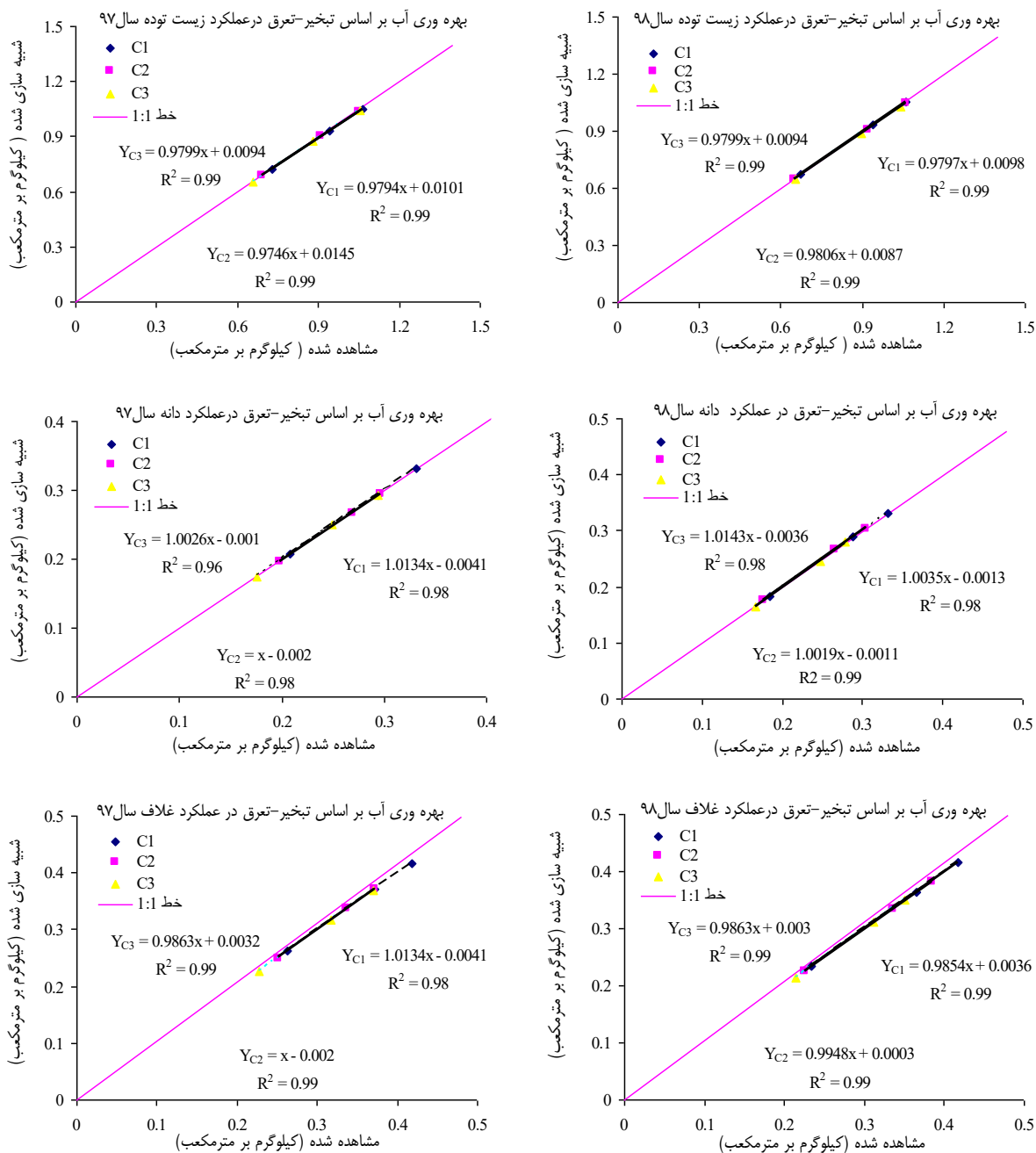
(et al., 2007). همچنین نتایج پژوهش‌های دیگر روی گیاه ذرت و لویبای چشم‌بلیلی، حاکی از دقت قابل قبول مدل DSSAT در شبیه‌سازی مؤلفه‌های رشد در مناطق مختلف بوده است (Lomeling et al., 2014; Chisanga et al., 2015).

طی پژوهشی در کشور برزیل، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد برای چهار تیمار مختلف گیاه ذرت تحت شرایط آبیاری بین ۱۰/۴ تا ۲۴/۲ درصد و برای شرایط دیم بین ۱۰ تا ۲۴/۴ درصد گزارش شد و شاخص توافق ویلموت در شرایط آبیاری از ۰/۹۶ تا ۰/۹۹ و در حالت دیم بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۹ به‌دست آمد (Soler et al., 2015).



شکل ۴- مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده میزان بهره‌وری آب بر اساس تعرق مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف

Figure 4- Simulated and observed values of water productivity based on transpiration based on biomass, seed, and pod yields



شکل ۵- مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده میزان بهره‌وری آب بر اساس تبخیر و تعرق مبتنی بر عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف

Figure 5- Simulated and observed values of water productivity based on evapotranspiration on biomass, seed, and pod yields

زیست‌توده در ارقام لوبیای چشم‌بلیلی افزایش یافت و مدل توانست تغییرات این صفات را در سطوح مختلف آبیاری، مطابق با نتایج مشاهده شده در مزرعه شبیه‌سازی کند. اما با افزایش تنش کم‌آبی، درصد خطای نسبی شبیه‌سازی شده در شرایط تنش بیش‌تر از شرایط آبیاری شده بود. مقادیر آماره‌های  $RMSE_n$  و  $RMSE$  برای پارامترهای عملکرد و بهره‌وری آب نشان داد که مدل DSSAT دارای خطای قابل قبولی در شبیه‌سازی صفات است. ریشه میانگین مربعات خطا در برآورد میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد

#### ۴- نتیجه‌گیری

کمبود منابع آب و افزایش دما، نگرانی‌های جدی در مورد پایداری سیستم‌های کشاورزی و بهره‌وری مناسب آب مصرفی در مناطق مختلف به وجود آورده است. در پژوهش حاضر به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد دانه، غلاف، زیست‌توده، اجزای بیلان آب خاک و بهره‌وری مصرف آب در ارقام گیاه لوبیای چشم‌بلیلی از مدل DSSAT استفاده شد. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که در آزمایش مزرعه‌ای، با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد دانه و



کلی، شبیه‌سازی عملکرد دانه، غلاف و زیست‌توده تحت تأثیر کم‌آبایی، با مدل مذکور قابل قبول و مطلوب بود و این مدل قادر است به‌عنوان ابزاری راه‌گشا جهت پشتیبانی تصمیم و ارتقاء پژوهش‌ها در مدیریت مصرف آب در لوبیای چشم‌بلبلی برای منطقه مورد مطالعه توصیه شود.

### سپاسگزاری

از ریاست و معاونت محترم بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، موسسه تحقیقات خاک و آب کرج، تشکر و قدردانی می‌گردد.

عبدالذکوهری، ع.، تافته، آ. و ابراهیمی پاک، ن. (۱۴۰۱). بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه بادام زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۶(۳)، ۴۶۰-۴۷۱.

قدمی فیروزآبادی، ع.، شاهنظری، ع.، و رائینی‌سرجاز، م. (۱۳۹۳). تحلیل اقتصادی مدیریت کم‌آبایی و تعیین اعماق شاخص بهینه آبیاری در گیاه آفتابگردان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۱(۶)، ۲۵۵-۲۶۸.

مندنی، ف.، کرمی، پ.، و قبادی، ر. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی تأثیر رژیم‌های رطوبتی بر رشد و عملکرد ذرت در منطقه کرمانشاه توسط مدل CERES-Maize. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۱۳(۱)، ۳۹-۵۶.

زیست‌توده بر اساس آب مصرفی، برای ارقام کامران، خوزستان و دهسری در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۰۱۰۷۸ و ۰/۰۱۰۸۷ و کیلوگرم بر مترمکعب و در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۰/۰۱۰۴۴ و ۰/۰۱۰۷۹ و ۰/۰۱۰۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب شد که حاکی از برتری اندک رقم دهسری نسبت به ارقام کامران و خوزستان بود. مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در عملکرد زیست‌توده، دانه و غلاف نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای نسبی و متوسط میزان خطای نسبی مناسب بود و مدل DSSAT توانست عکس‌العمل ارقام گیاه لوبیای چشم‌بلبلی را در شرایط کم‌آبایی به خوبی شبیه‌سازی نماید. به‌طور

### منابع

دوکوهکی، ح.، قیصری، م.، موسوی، ف.، و میرلطیفی، م. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی رطوبت خاک در شرایط کم‌آبایی با استفاده از مدل DSSAT. *مدیریت آب و آبیاری*، ۲(۱)، ۱-۱۴.

رضانی واسوکلائی، م.، درزی نفتچالی، ع.، صابری، ف.، و کاظمی، ش. (۱۴۰۱). ارزیابی و شبیه‌سازی تأثیر مدیریت سطح ایستایی بر عملکرد برنج و اجزای آن با استفاده از مدل. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۲(۴۸)، ۱۵۷-۱۷۵.

سیاسخواه، ع.ر.، توکلی، ع.، و موسوی، ف. (۱۳۸۵). اصول و کاربرد کم‌آبایی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۸۸ صفحه.

### References

- Abdzad Gohari, A., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2022). Investigation of water requirement system in determining the actual amount of irrigation water of peanut plant based on inverse solution of yield function under water stress conditions. *Iranian Irrigation and Drainage*, 16(3), 460-471 (in Persian).
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- Attia, A., El-Hendawy, S., Al-Suhaiban, N., Alotaibi, M., Usman, M., Tahir, M., & Kamal, K. (2021). Evaluating deficit irrigation scheduling strategies to improve yield and water productivity of maize in arid environment using simulation. *Agricultural Water Management*, 249, 106812.
- Basaran, U., Ayan, I., Acar, Z., Mut, H., & Asci, O. (2011). Seed yield and agronomic parameters of cowpea (*vigna unguiculata* L.) genotypes grown in the black sea region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10(62), 13461-13464.
- Bastos, E., Folegatti, M., Faria, R., Júnior, A., & Cardoso, M. (2002). Simulation of growth and development of irrigated cowpea in Piauí State by CROPGRO model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(10), 1381-1387.
- Bhowmik, A., Khawas, S., Dutta, G., Ray, R., & Patra, S. (2020). Response of summer cowpea to growth, yield and water use efficiency under different irrigation and nutrient management in lower indo-gangetic plains. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 900-911.
- Chemutai, C., Cheminingwa, G.N., & Ambuko, J. (2018). Effect of fertilizers and harvesting method on yield of cowpea. *African Journal of Rural Development*, 3(2), 1-7.
- Chimonyo, V.G.P., Modi, A.T., & Mabhaudhi, T. (2016). Water use and productivity of a sorghum-cowpea-bottle gourd intercrop system. *Agricultural Water Management*, 165, 82-96.
- Chisanga, C.B., Phiri, E., Shepande, C., & Sickingabula, H. (2015). Evaluating CERES maize model using planting dates and nitrogen fertilizer in Zambia. *Journal of Agricultural Science*, 7(3), 1-19.
- Daramy, M.A., Sarkodie-Addo, J., & Dumbuya, G. (2016). The effects of nitrogen and phosphorus fertilizer application on crude

- protein, nutrient concentration and nodulation of cowpea in Ghana. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 11(12), 470-480.
- Dokoohaki, H., Gheysari, M., Mousavi, S.F., & Mirlatifi, S.M. (2012). Estimation soil water content under deficit irrigation by using DSSAT. *Water and Irrigation Management*, 2(1), 1-14 (in Persian).
- Ghadami Firouzabadi, A., Shahnazari, A., & Raeini, M. (2015). The Economic analysis of deficit irrigation management and determination of the optimum depth of irrigation in sunflower plant. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(6), 255-268 (in Persian).
- Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Shelia, V., Wilkens, P.W., Singh, U., White, J.W., Asseng, S., Lizaso, J.I., Moreno, L.P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L.A., Tsuji, G.Y., & Jones, J.W. (2019). The DSSAT crop modeling ecosystem. In: p.173-216 (K.J. Boote, editor), *Advances in crop modeling for a sustainable agriculture*, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, United Kingdom.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., & Wilson, D.R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27, 337-350.
- 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., & Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.
- Lomeling, D., Mogga, M., Abdelrahman, A., Mathew Otwari, S., & Yahya, M. (2014). Using the cropgro model to predict phenology of cowpea under rain-fed conditions. *International journal of plant and soil science*, 3(7), 824-844.
- Mondani, F., Karami, p., & Ghobadi, R. (2021). Simulation of moisture regimes effect on maize (*Zea mays*) growth and yield in Kermanshah region by CERES-Maize model. *Journal of Crop Science Research in Arid*, 3(1), 39-56 (in Persian).
- Nouri, M., Hoogenboom, G., Bannayan, M., & Homaei, M. (2022). CSM - CERES - wheat sensitivity to evapotranspiration modeling frameworks under a range of wind speeds. *Water*, 14(19), 2-20.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5(86), 1-8.
- Prakasham, S.M., Ramanathan, S.P., Annadurai, K., & Prabina, B. (2019). Influence of irrigation regimes and organics on the productivity and quality of vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 3391-3393.
- Priestley, C.H.B., & Physics, R.J.T.A. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.
- Ramezani-Vasokolaei, M., Darzi Naftchali, A., Saber Ali, F., & Kazemi, Sh. (2022). Evaluation and Simulation of Water Table Management Influence on Rice Yield and its Components Involving DSSAT Model. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 12(4), 157-175 (in Persian).
- Sepaskhah, A.R., Tavakoli, A., & Mousavi, F. (2006). *Principles and applications of deficit irrigation*. Publications of Iran's National Irrigation and Drainage Committee, 288 pages (in Persian).
- Shardendu, K., Singh, K., & Reddy, R. (2011). regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*vigna unguiculata* L walp.) under drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 105, 40-50.
- Singh, A.K., Tripathy, R., & Chopra, U.K. (2008). Evaluation of CERES wheat and crop system models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95, 776-786.
- Soler, C.M.T., Sentelhas, P.C., & Hoogenboom, G. (2007). Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy*, 27(2), 165-177.
- Tsuji, G.Y., Uehara, G., & Balas, S. (1994). *DSSAT V3. Honolulu*. University Of Hawaii, 3V. 256 pages.
- Walpole, R.E., Myers, R.M., & Myers, S.L. (1998). *Probability and statistics for engineers and scientists*. 6th Edition: New Jersey, 823 pages.
- White, J., & Hoogenboom, G. (2010). Crop response to climate: ecophysiological models. In: Lobell D, Burke M, editors. *Climate change and food security, advances in global change research*, 37, 59-83.
- Willmott, C.J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society*, 63, 1309-1313.
- Yang, J.M., Yang, J.Y., Liu, S., & Hoogenboom, G. (2014). An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems*, 127, 81-89.