

## Research Paper

**Simulation of Yield and Water Productivity of Cotton Plant under Different Agricultural Managements Using AquaCrop Model**

Jamshid Bani Fri<sup>1</sup>, Aslan Egdernezhad<sup>2\*</sup>, Ali Mokhtaran<sup>3</sup> Mahdi Asadilour<sup>4</sup> Davoud Khodadadi Dehkordi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>3</sup> Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.



[10.22125/IWE.2025.478676.1830](https://doi.org/10.22125/IWE.2025.478676.1830)

Received:  
**October 15, 2024**  
Accepted:  
**February 20, 2025**  
Available online:  
**April 25, 2025**

**Keywords:**  
**Non-Conventional  
Water, Drain, Crop  
Model.**

**Abstract**

Considering that the cultivation of cotton with drainage is expanding in Khuzestan province, Iran; it seems necessary to simulate its yield and growth using crop models, including AquaCrop. For this reason, the current research aims to evaluate the ability of this model to simulate the yield, growth and water productivity of cotton under three irrigation water salinity (S1: 2, S2: 4 and S3: 6 dS.m<sup>-1</sup>) were investigated. To develop the results of this research, two cultivation dates (D1: March 15 and D2: March 25) and two cotton varieties (C1: Khurshid, C2: Golestan) were also considered. The research farm named L08-20 with an area of 25 hectares was located in the vicinity of the sugarcane industry of Mirza Koochak Khan, Iran. The results showed that the AquaCrop model had an overestimation error (MBE>0) for simulating the yield, biomass and water productivity of both cotton varieties, but it had good accuracy (NRMSE<0.2) and good efficiency (d>0.99). Was. The accuracy of the AquaCrop model for simulating soil salinity was poor, so that the NRMSE value for three depths of 30, 60 and 90 cm was less than 0.3. Increasing the salinity of irrigation water caused a decrease in the accuracy of the AquaCrop model for simulating the vegetation in Khurshid variety, but ultimately, it did not have much effect on the decrease in the accuracy of the AquaCrop model for simulating both varieties. Changing the planting date did not make a difference in the results of cotton yield and growth simulation. Based on all the results, the AquaCrop model had the ability to simulate the yield and growth of cotton cultivars in different field managements, but it cannot be reliable for simulating soil salinity.

\* **Corresponding Author:** Aslan Egdernezhad

**Address:** Department of Water Sciences and Engineering,  
Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

**Email:** a\_eigder@gmail.com

**Tel:** 09163111269

## 1. Introduction

It is predicted that the irrigated lands, which include about 20% of the world's agricultural lands; produce about 40% of the total yield of crops. Although the highest amount of water consumption is in the agricultural sector and for the production of water crops; population growth and the need to increase crop yield, along with decreasing access to quality water sources, it is necessary to use brackish and drains. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is one of the crops that has a relatively high tolerance to salinity, and for this reason, it is always considered as one of the suitable crops for the development of cultivated area with drainage. Sugarcane farms in Khuzestan province, which include more than one hundred thousand hectares of irrigated fields in this province; they produce a lot of drains. This drainage has always caused many concerns for planners and policy makers. For this reason, the aim of this research is to simulate the growth and yield of cotton under the application of sugarcane drainage using the AquaCrop crop model.

## 2. Materials and Methods

The current research aims to evaluate the ability of this model to simulate the yield, growth and water productivity of cotton under three irrigation water salinity (S1: 2, S2: 4 and S3: 6 dS.m<sup>-1</sup>) were investigated. To develop the results of this research, two cultivation dates (D1: March 15 and D2: March 25) and two cotton varieties (C1: Khurshid, C2: Golestan) were also considered. The research farm named L08-20 with an area of 25 hectares was located in the vicinity of the sugarcane industry of Mirza Koochak Khan, Iran.

## 3. Results

With the trial and error, the AquaCrop model was calibrated using the data collected from the first year. The value of GDD for emergence, flowering, maximum canopy cover, senescence and maturity of Khorshid variety was 93 °C, 1017 °C, 1068 °C, 1609 °C and 2455 °C, respectively, which were considered during two crop years. These values for Golestan variety were 114 °C, 1052 °C, 1100 °C, 1649 °C and 2470 °C, respectively. Initial canopy cover and maximum canopy cover were measured during the experiment in the field. The CGC and CDC for Khurshid variety was 12.5% per day and 0.3% per GDD respectively and for Golestan variety it was 12.0% per day and 0.3% per GDD respectively. Initial canopy cover and maximum canopy cover were measured in the field for both cultivars. The maximum and minimum root depth for both cultivars were 0.1 and 0.10 meters, respectively. Normalized water productivity for both cultivars was equal to 17 g.m<sup>-2</sup>. The evaluation results in the calibration stage showed that the AquaCrop model had acceptable accuracy (NRSME<0.2) and efficiency (d>0.90) for simulating yield, growth and water productivity. The accuracy of this model for biomass simulation was better for Khurshid variety (NRSME<0.2) than Golestan variety (NRSME<0.3), but in terms of model efficiency (d>0.90), the results obtained for both varieties were the same. With the increase of water salinity, the accuracy of the AquaCrop model for simulating soil salinity decreased so that the NRMSE values for treatments S1 to S3 were in the medium (0.2<NRMSE<0.3), medium (0.2<NRMSE<0.3) and weak (0.3<NRMSE) range. Although the coefficient of explanation of soil salinity was low for all salinity treatments. Therefore, despite the ability of the AquaCrop model to follow changes in yield parameters, water productivity, growth and biomass (R<sup>2</sup>>0.98), this model was weak in determining changes in soil salinity (R<sup>2</sup><0.45).

## 4. Discussion and Conclusion

The AquaCrop model had a poor estimate of soil salinity in all three depths of 30, 60 and 90 cm, so that the value of NRSME for above-mentioned three depths was equal to 0.30, 0.30 and 0.47, respectively. Changing the cultivation date had no effect on the accuracy and efficiency of the AquaCrop model, and the development of crop canopy and biomass of both cotton cultivars was similar on D1 and D2 dates. According to all the results, it seems that the results of the AquaCrop model cannot be trusted for the simulation of soil salinity, but this model had a good ability to simulate the yield, water productivity, crop canopy and biomass of cotton. For this reason, it is suggested to use this crop model to simulate the yield and growth of cotton in other regions, but refer to other available models to simulate salinity.

## 5. Six important references

- 1) Ren, F., Yang, G., Li, W., He, X., Gao, Y., Tian, L., Li, F., Wang, Z., Liu, S., 2021. Yieldcompatible salinity level for growing cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under mulched drip irrigation using saline water. *Agric. Water Manag.* 250, 106859.
- 2) Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water. I. Concepts and Underlying Principles. *Agron. J.* 101: 426-437.
- 3) Tsakmakis, I.D., Kokkos, N.P., Gikas, G.D., Pisinaras, V., Hatzigiannakis, E. Arampatzis, G., 2019. Evaluation of AquaCrop model simulations of cotton growth under deficit irrigation with an emphasis on root growth and water extraction patterns. *Agric. Water Manag.* 213, 419–432.
- 4) Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kalivas, D., Vahamidis, P., Kotoulas, V. Kapsomenakis, J., Zerefos, C., 2015. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop model and discriminant function analysis. *Agric. Water Manag.* 147, 116–128.
- 5) Yang, G., Li, F., Tian, L., He, X., Gao, Y., Wang, Z., Ren, F., 2020. Soil physicochemical properties and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield under brackish water mulched drip irrigation. *Soil Tillage Res.* 199, 104592.
- 6) Zheng, C., Feng, D., Li, K., Ma, J., Dang, H., Cao, C., Sun, J., Zhang, J., 2020. Effects of furrow irrigation with saline water on variation of soil water-salt, cotton growth and yield. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 36 (13), 92–101.

## Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



## شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گیاه پنبه با استفاده از زهاب نیشکر تحت مدیریت‌های مختلف زراعی با استفاده از مدل AquaCrop

جمشید بنی فری<sup>۱</sup>، اصلان اگدرنژاد<sup>۲\*</sup>، علی مختاران<sup>۳</sup>، مهدی اسدی لور<sup>۴</sup>، داود خدادادی دهکردی<sup>۵</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲

### چکیده

با توجه به اینکه کاشت پنبه با زهاب در استان خوزستان در حال گسترش است؛ لزوم شبیه‌سازی عملکرد و رشد آن با استفاده از مدل‌های گیاهی از جمله AquaCrop ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی توانایی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد، رشد و بهره‌وری آب پنبه تحت سه کیفیت آب آبیاری (S1: آب کارون با متوسط شوری دو دسی زیمنس بر متر، S2: تلفیق آب کارون و زهاب با متوسط شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و S3: زهاب با متوسط شوری ۶ دسی زیمنس بر متر) مورد بررسی قرار گرفت. برای توسعه نتایج این پژوهش، دو تاریخ کاشت (D1: ۱۵ اسفند و D2: ۲۵ اسفند) و دو رقم پنبه (C1: خورشید، C2: گلستان) نیز در نظر گرفته شدند. مزرعه تحقیقاتی با نام L08-20 با مساحت ۲۵ هکتار در مجاورت کشت و صنعت نیشکر میزرا کوچک خان قرار داشت. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد، بیوماس و بهره‌وری آب هر دو رقم پنبه دچار خطای بیش‌برآوردی ( $MBE > 0$ ) گردید ولی دارای دقت خوب ( $NRMSE < 0.2$ ) و کارایی مطلوب ( $d > 0.99$ ) بود. دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی شوری خاک ضعیف بود به طوری که مقدار NRMSE برای سه عمق ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر کمتر از ۰/۳ به دست آمد. افزایش شوری آب آبیاری سبب کاهش دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی در رقم خورشید گردید ولی در نهایت، اثر چندانی بر کاهش دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی هر دو رقم نداشت. تغییر تاریخ کاشت نیز تفاوتی در نتایج شبیه‌سازی عملکرد و رشد پنبه ایجاد نکرد. براساس کلیه نتایج، مدل AquaCrop توانایی شبیه‌سازی عملکرد و رشد ارقام پنبه را در مدیریت‌های مختلف مزرعه داشت ولی برای شبیه‌سازی شوری خاک نمی‌تواند قابل اعتماد باشد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، زهاب، مدل گیاهی.

۱ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: jamshidbaniferi@yahoo.com  
۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: a\_eigder@ymail.com (نویسنده مسئول)  
۳ استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. پست الکترونیک: alimokhtaran@gmail.com  
۴ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: asadi379@yahoo.com  
۵ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: davood\_kh70@yahoo.com

## مقدمه

کشت و صنعت‌های نیشکر در استان خوزستان که بالغ بر صد هزار هکتار از مزارع آبی این استان را شامل می‌شوند؛ زهاب زیادی تولید می‌کنند. این زهاب همواره دغدغه‌های زیادی برای برنامه‌ریزان ایجاد کرده به طوری که در برخی موارد دفع آن‌ها هزینه‌های سرسام‌آوری در پی دارد. با توجه به اثرات تغییر اقلیم بر کاهش منابع آب استان خوزستان، استفاده مجدد از زهاب نیشکر برای زراعت محصولاتی مانند پنبه مطرح شده است. لیکن اطلاعات محدودی در خصوص امکان گسترش آن وجود دارد. برای بررسی امکان‌سنجی این موضوع، محققان پیشنهاد کرده‌اند که از مدل‌های گیاهی استفاده شود (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۷؛ اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۸؛ احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). مدل AquaCrop از جمله مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد بسط داده شده و قابلیت شبیه‌سازی طیف وسیعی از گیاهان زراعی را دارد (نصرالهی و همکاران، ۲۰۲۴). تاکنون این مدل برای گیاه پنبه توسط محققان مختلفی مورد استفاد قرار گرفته است. به عنوان مثال، لی و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که مدل AquaCrop قابلیت مطلوبی در شبیه‌سازی پنبه در شرایط تغییر اقلیم در کشور چین داشت. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی اثر شوری آب آبیاری بر رشد گیاه پنبه با استفاده از مدل AquaCrop پرداختند. این محققان گزارش کردند که این مدل گیاهی به خوبی توانست رشد گیاه پنبه را در شرایط آب شور شبیه‌سازی کند. لی و همکاران (۲۰۲۴) با تکیه بر دقت مدل AquaCrop، از آن برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید پنبه در دهه‌های آینده در چین استفاده کردند. ژو و همکاران (۲۰۲۵) به ارزیابی مدل AquaCrop در شرایط آبیاری متناوب با آب شور و شیرین برای گیاه پنبه پرداختند. این محققان نشان دادند که گرچه نتایج به دست آمده قابل قبول بود ولی مدل AquaCrop می‌بایست نسبت به شبیه‌سازی شرایط شوری بهینه شود.

براساس بیان مسأله و مرور پژوهش‌های سایر محققان، تاکنون مدل AquaCrop با استفاده از زهاب نیشکر

پیش‌بینی می‌شود که اراضی فاریاب، که حدود ۲۰ درصد کل زمین‌های زراعی جهان را شامل می‌شوند؛ حدود ۴۰ درصد کل عملکرد محصولات زراعی را تولید کنند (Oliveira et al., 2023). گرچه بیشترین میزان مصرف آب در بخش کشاورزی و برای تولید محصولات زراعی آبی وجود دارد؛ رشد جمعیت و نیاز به افزایش تولید در کنار کاهش دسترسی به منابع آب با کیفیت، نیاز به استفاده از آب‌های لب‌شور و زهاب دیده می‌شود (Skaggs et al., 2014; Assouline et al., 2015; Li and Ren, 2020). به همین دلیل، در دهه‌های اخیر این رویه در اکثر مناطق جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Minhas, 1996; Mehta et al., 2000; Ould Ahmed et al., 2010; Ozturk et al., 2018; Huang et al., 2019; Yang et al., 2020). با این وجود، به دلیل تجمع نمک در خاک در طول آبیاری با منابع آب شور، این موضوع می‌تواند یکی از محدودیت‌های آبیاری با این نوع آب نامتعارف برای کشاورزی پایدار و عملکرد گیاهان زراعی باشد (Yang et al., 2020; Zheng et al., 2020).

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) یکی از گیاهان زراعی است که تحمل نسبتاً بالایی به شوری دارد و به همین دلیل همواره به عنوان یکی از گیاهان مناسب برای توسعه سطح زیر کشت با زهاب در نظر گرفته می‌شود (Ayers and Westcot, 1999; Paiva et al., 2013). گرچه تحمل به شوری پنبه نسبت به شوری آب آبیاری تا ۷/۷ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (Ayers and Westcot, 1999) لیکن تحقیقات بسیاری از محققان نشان داده است که در شوری‌های بالاتر از ۶-۵ دسی‌زیمنس بر متر، رشد و عملکرد آن به شدت کاهش می‌یابد (Zhang et al., 2014; Yang et al., 2020). علی‌رغم این موضوع، شوری زهاب به دلیل اثرات منفی بر شوری خاک سبب اثراتی بر خاک از جمله کاهش نفوذپذیری و تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود که این عامل نیز می‌تواند بر عملکرد پنبه موثر باشد (Wang et al., 2020).

جمع کننده وجود دارد. با توجه به موقعیت زهکش‌های جمع کننده در دو طرف مزرعه، و طول ۱۰۰۰ متری مزارع، زهکش‌های زیرزمینی به طول ۵۰۰ متری قرار می‌گیرند و مستقیماً به زهکش‌های جمع کننده تخلیه می‌شوند. عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی از ۱/۸ متری سطح زمین در ابتدا تا ۲/۲ متری در انتها متغیر است و فاصله زهکش‌های زیرزمینی ۶۰ متر است.

پیش از کاشت، پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). سپس، عملیات شخم در پاییز و دیسک در زمستان انجام گردید. کودهای مورد نیاز قبل از کاشت و براساس آزمون خاک به زمین داده شد. برای مقابله با خسارت بیماری‌ها، بذرها قبل از کشت ضد عفونی گردیدند. سپس بذر پنبه با تراکم ۱۰۰ درصد در تاریخ-های ۱۵ و ۲۵ اسفند دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ کاشته شدند (جدول ۲). در طول آزمایش، عملیات تنک‌کاری، واکاری، سمپاشی و مبارزه با علف‌های هرز به صورت یکسان برای همه تیمارها انجام گردید. آبیاری تیمارها براساس کمبود رطوبت خاک صورت گرفت (شکل ۲). در واقع، قبل از آبیاری، نمونه رطوبت خاک گرفته شده و با پایش میزان رطوبت آن، مقدار آب آبیاری تعیین و عملیات آبیاری تا عمق موثر ریشه انجام گردید. در پایان فصل رشد، نمونه‌برداری از تیمارها صورت گرفت و مقدار عملکرد برای هر تیمار توسط ترازو تعیین گردید.

توسط محققان ارزیابی نشده است. از این رو، هدف این پژوهش، شبیه‌سازی رشد و عملکرد پنبه تحت کاربرد زهاب نیشکر با استفاده از مدل گیاهی AquaCrop است.

## روش بررسی

### محل پژوهش

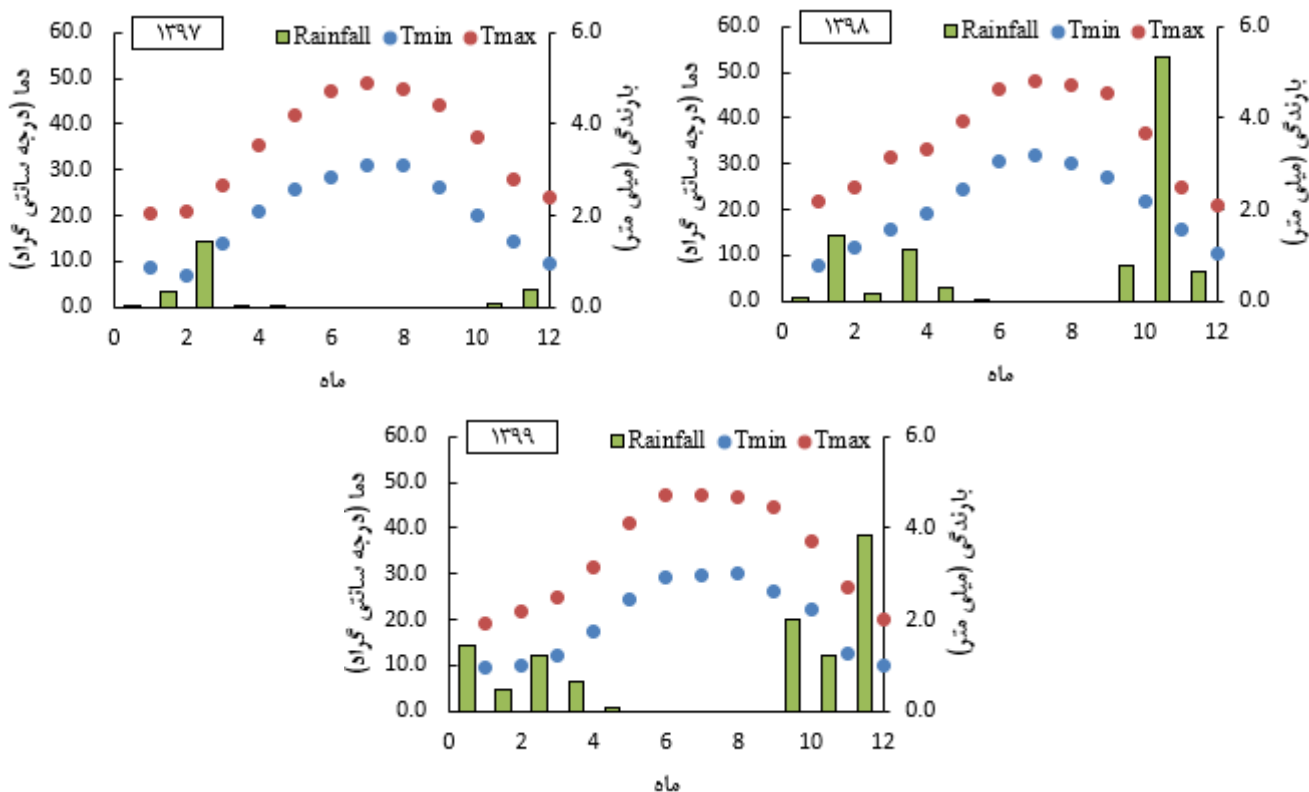
این تحقیق با استفاده از داده‌های برداشت شده از طرح‌های تحقیقاتی انجام شده در مجاورت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان، در مزرعه مطالعاتی با نام L08-20، انجام شد (روشنی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مختاران و طاوسی، ۱۳۹۹؛ مختاران و قربانی نصرآباد، ۱۴۰۰). تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل تاریخ کاشت (D1: ۱۵ اسفند و D2: ۲۵ اسفند) کیفیت آب آبیاری (S1: آب کارون با متوسط شوری دو دسی زیمنس بر متر، S2: تلفیق آب کارون و زهاب با متوسط شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و S3: زهاب با متوسط شوری ۶ دسی زیمنس بر متر) و رقم پنبه (C1: خورشید، C2: گلستان) بود. مزرعه تحقیقاتی با مساحت ۲۵ هکتار در جنوب کارخانه صنایع جانبی و ایستگاه هواشناسی مزارع نیشکر قرار داشت. برخی داده‌های هواشناسی در طول دوره آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است. این مزرعه از سال ۱۳۸۰ به زیر کشت رفت و در دو سال ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ تحت آیش قرار گرفت. در اطراف این مزرعه زهکش

جدول (۱): خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

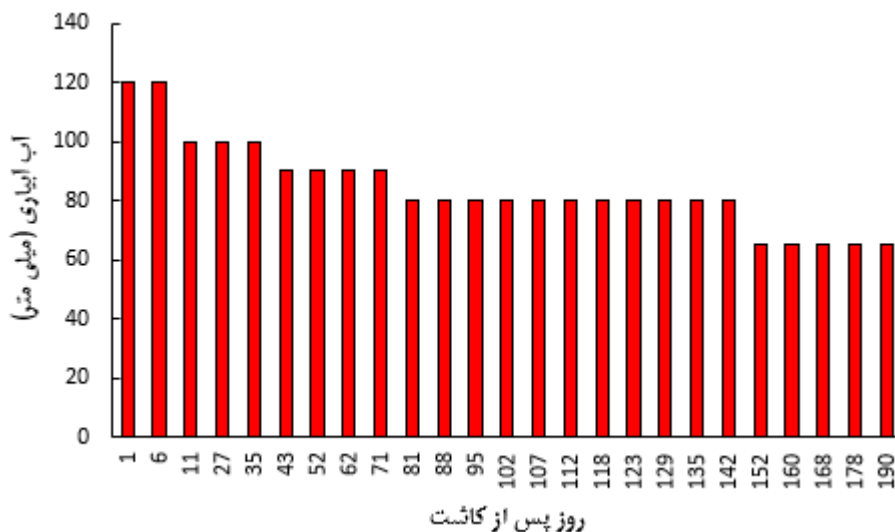
عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	نقطه پژمردگی (درصد حجمی)
۳۰-۰	لومی رسی	۱/۵۳	۴/۳۳	۴۶	۱۹/۹۷
۶۰-۳۰	لومی	۱/۶۷	۳/۶۲	۳۸/۵	۱۸/۴
۹۰-۶۰	لوم رسی سیلتی	۱/۴۶	۳	۴۶/۹۸	۱۷/۲۲

جدول (۲): مراحل رشد پنبه در طول دوره آزمایش

کاشت	جوانه‌زنی	گلدهی	غلاف‌دهی	برداشت
۱۵ اسفند	۱ اردیبهشت	۲۵ اردیبهشت	۲۳ تیر	۳۰ شهریور
۲۵ اسفند	۱۰ اردیبهشت	۶ خرداد	۲ مرداد	۵ مهر



شکل (۱): مشخصات هواشناسی در طول دوره مطالعه



شکل ۲- متوسط مقدار آب آبیاری در طول دوره مطالعه

### مدل AquaCrop

در این مدل برای تعیین عملکرد محصول براساس تبخیر-تعرق از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009).

(۱)

در این رابطه،  $Y_x$  و  $Y_a$  به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول،  $ET_x$  و  $ET_a$  به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و  $K_y$  ضریب نسبی میزان کاهش

داده‌های ورودی مدل AquaCrop شامل چهار گروه داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه است. داده‌های اقلیمی شامل بیشینه و کمینه دمای روزانه، بارندگی، تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) و میانگین غلظت  $CO_2$  سالانه می‌باشد. داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی نزدیک به محل آزمایش برداشت و به مدل وارد شد (شکل ۱). غلظت  $CO_2$  نیز بر اساس مقدار پیش‌فرض، که در رصدخانه مائونالوای هاوایی اندازه‌گیری شده‌است (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009)، برای این مدل تعیین شد.

داده‌های خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، بافت خاک و رطوبت حجمی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم پیش از کاشت تعیین و به مدل وارد گردید (جدول ۱). داده‌های مدیریت مزرعه نیز شامل الف) مدیریت مزرعه و حاصلخیزی و ب) آبیاری است. مدیریت مزرعه بدون محدودیت برای مدل AquaCrop تعریف شد. آبیاری نیز براساس مقادیر اندازه‌گیری شده مطابق شکل (۲) به‌مدل معرفی گردید. پارامترهای گیاهی مدل AquaCrop برای گیاه پنبه توسط بسط دهندگان مدل تعریف شده است. با توجه به اینکه شرایط هر منطقه برای گیاه پنبه متفاوت است، لازم است برخی از این داده‌ها در محل اجرای پژوهش اندازه‌گیری شوند. سایر داده‌ها نیز یا به‌صورت پیش‌فرض باقی مانده و یا براساس شرایط شبیه‌سازی تغییر می‌کنند. تغییر این داده‌ها حین دو فرایند واسنجی و صحت‌سنجی انجام گردید (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009).

### ارزیابی مدل

برای ارزیابی این مدل گیاهی، ابتدا واسنجی انجام شد. بدین منظور مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های برداشت شده از مزرعه در سال اول مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس صحت‌سنجی این مدل با استفاده از داده‌های برداشت شده در سال دوم انجام شد. برای ارزیابی مدل AquaCrop در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در

محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق است. این مدل با تفکیک تبخیر-تعرق (ET) به دو جزء تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr)، از مصرف غیرتولیدی آب از طریق تبخیر جلوگیری می‌کند. این مهم با شبیه‌سازی پوشش تاج گیاه به جای شاخص سطح برگ (LAI) انجام می‌شود. بدین ترتیب که توسعه پوشش تاج گیاه از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه پوشش تاج از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009):

$$CC = CC_0 \times e^{CGC \cdot t} \quad (2)$$

که در این رابطه، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)،  $CC_0$  پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. میزان تعرق گیاه براساس پوشش تاج از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009):

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (3)$$

که در آن،  $K_s$  و  $K_c$  به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی هستند. بیوماس خشک نیز طبق رابطه (۴) برآورد می‌گردد (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009):

$$B = WP^* \left[ \frac{T_r}{ET_{0,i}} \right] \quad (4)$$

که در این رابطه، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب،  $ET_0$  تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد وزن دانه (Y) نیز با استفاده از ماده‌ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Steduto et al., 2009; Raes et al., 2009):

$$Y = B \times HI \quad (5)$$

شدت تنش آبی ( $K_s$ ) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. در واقع در صورت تنش آبی میزان تاج پوشش گیاهی کاهش یافته و به تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد. این عمل سبب کاهش ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه می‌شود.

### ورود داده‌ها به مدل

در این روابط،  $P_i$  مقدار شبیه‌سازی شده،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $\bar{P}$  میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و  $n$  برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها، محاسبه‌ی آماره‌ها و رسم نمودارها در محیط Microsoft Excel انجام شد.

### یافته‌ها

با رویکرد صحیح و خطا، مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های برداشت شده از سال اول واسنجی گردید. پارامترهای واسنجی شده برای مدل AquaCrop در جدول (۳) نشان داده شده است. مقدار  $GDD^2$  برای سبز شدن، گلدهی، حداکثر پوشش گیاهی، زوال گیاه و رشد کامل رقم خورشید به ترتیب ۹۳، ۱۰۱۷، ۱۰۶۸، ۱۶۰۹ و ۲۴۵۵ درجه‌سنتی‌گراد بود که در طول دو سال زراعی در نظر گرفته شد. این مقادیر برای رقم گلستان به ترتیب ۱۱۴، ۱۰۵۲، ۱۱۰۰، ۱۶۴۹ و ۲۴۷۰ درجه‌سنتی‌گراد بود. پوشش گیاهی اولیه و حداکثر پوشش گیاهی در طول آزمایش در مزرعه اندازه‌گیری شد. ضریب رشد و کاهش پوشش گیاهی برای رقم خورشید به ترتیب ۱۲/۵ درصد بر روز و ۰/۳ درصد بر  $GDD$  و برای رقم گلستان به ترتیب ۱۲/۰ درصد بر روز و ۰/۳ درصد بر  $GDD$  بود که در طول مرحله‌ی واسنجی تعیین شدند. مقدار این دو پارامتر بیشتر از مقادیر پیش‌فرض آن‌ها به دست آمدند که این اختلاف به دلیل تفاوت ارقام مورد مطالعه بود. پوشش اولیه تاج پوشش ( $CC_0$ ) و حداکثر پوشش تاج پوشش در مزرعه برای هر دو رقم اندازه‌گیری شد. حداکثر و حداقل عمق ریشه برای هر دو رقم به ترتیب ۱/۰ و ۰/۱۰ متر بود. بهره‌وری آب نرمال شده برای هر دو رقم برابر با ۱۷ گرم در متر مربع بود. این مقدار در محدوده ۱۵ تا ۲۰ گرم در متر مربع برای گیاهان C3 به دست آمد. مقدار بهره‌وری آب نرمال شده توسط سایر محققان از جمله Tan et al., Hussein et al., Voloudakis et al., (2015), (2018) Wang, Garcial-Vila et al., (2009), et al., (2011) Farahani et al., (2009) et al., (2021) نیز در همین محدوده گزارش شده است. شاخص برداشت و

روابط (۶) تا (۱۱) نشان داده شده‌اند. آماره‌های RMSE و NEMSE به ترتیب برای تعیین خطا و دقت مدل است. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۱-۰/۲، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. آماره MBE برای سنجش بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی این مدل است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مقدار شبیه‌سازی شده بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عدد کوچک‌تری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده کارایی مدل AquaCrop است. این دو آماره هر چه به یک نزدیک‌تر باشند بهتر است. آماره  $R^2$  نشان دهنده قدرت مدل برای شبیه‌سازی تغییرات به وجود آمده در مقدار واقعی است. این آماره از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\bar{O}_i}} \quad (7)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (10)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

<sup>2</sup> Growing Degree Day

( $NRSME < 0.3$ ) بود ولی از نظر کارایی مدل ( $d > 0.90$ )، نتایج به دست آمده برای هر دو رقم یکسان بود. با افزایش شوری آب، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی شوری خاک کاهش یافت به طوری که مقدار NRMSE برای تیمارهای S1 تا S3 به ترتیب در محدوده‌ی متوسط ( $0.2 < NRMSE < 0.3$ )، متوسط ( $0.2 < NRMSE < 0.3$ ) و ضعیف ( $0.3 < NRMSE$ ) قرار داشت. گرچه ضریب تبیین شوری خاک برای کلیه تیمارهای شوری مقادیر پایینی داشت (شکل ۳). بنابراین، علی‌رغم توانایی مدل AquaCrop در پیروی از تغییرات پارامترهای عملکرد، بهره‌وری آب، پوشش گیاهی و بیوماس ( $R^2 > 0.98$ )، این مدل در تعیین تغییرات شوری خاک ( $R^2 < 0.45$ ) ضعیف بود.

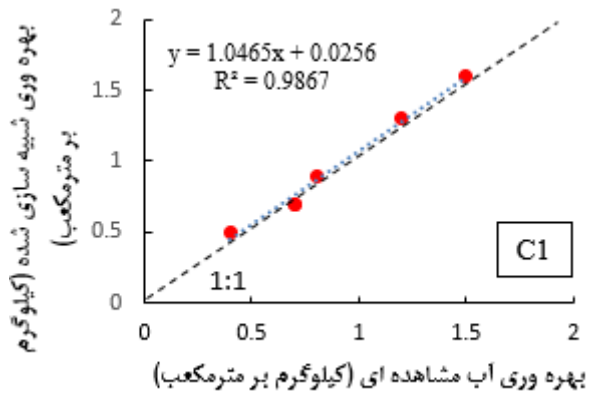
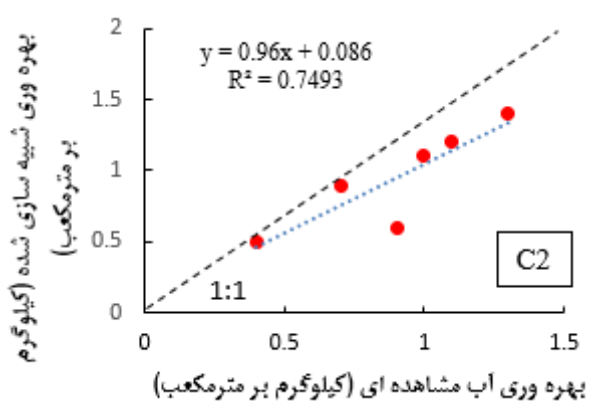
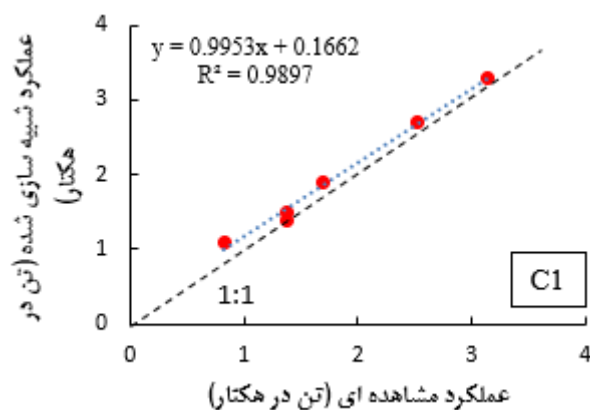
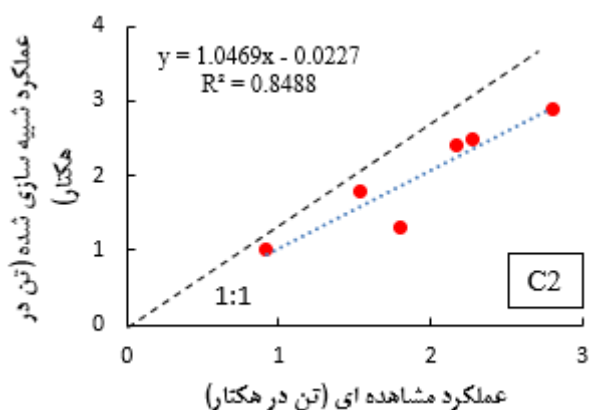
ضریب تعرق گیاهی برای هر دو رقم ثابت و به ترتیب برابر با ۷۰ درصد و ۱/۰۵ تعیین شد. شاخص برداشت توسط سایر محققان برای پنبه بین ۲۷ تا ۴۱ درصد گزارش شده است (Farahani et al., 2009; Voloudakis et al., 2015; Wang et al., 2021). در شرایط تنش شوری، حد آستانه بالای تحمل شوری و شوری عصاره اشباع برای توقف رشد به ترتیب برابر با ۹ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد. این مقادیر به نتایج Tan et al., (2018) و Mondal et al., (2015) نزدیک است. نتایج ارزیابی در مرحله‌ی واسنجی نشان داد که مدل AquaCrop دقت ( $NRSME < 0.2$ ) و کارایی ( $d > 0.90$ ) قابل قبولی برای شبیه‌سازی عملکرد، پوشش گیاهی و بهره‌وری آب داشت (جدول ۴). دقت این مدل برای شبیه‌سازی بیوماس برای رقم خورشید ( $NRSME < 0.2$ ) بهتر از رقم گلستان

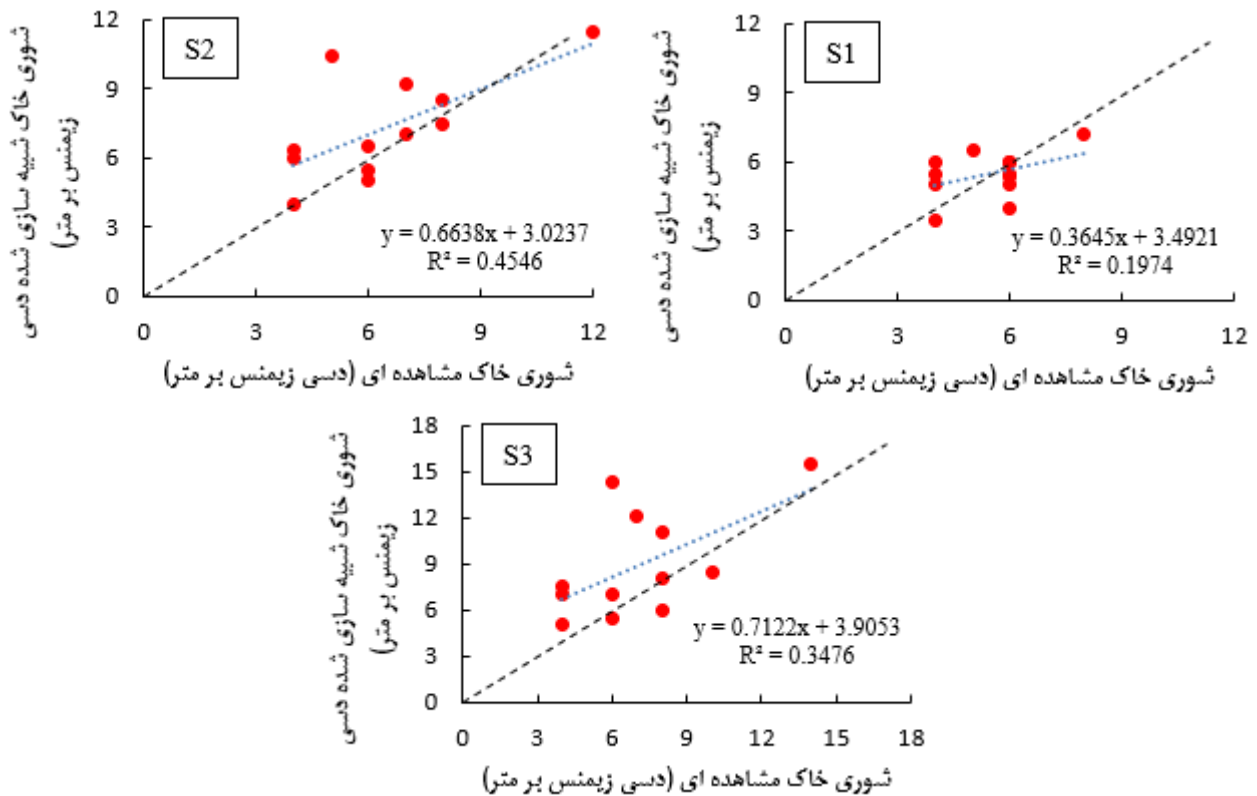
جدول (۳): پارامترهای گیاهی واسنجی شده برای مدل AquaCrop

واحد	مقدار رقم گلستان	مقدار رقم خورشید	پارامتر
درجه سانتی‌گراد	۱۱۴	۹۳	GDD از روز اول پس از کاشت تا سبز شدن
درجه سانتی‌گراد	۱۰۵۲	۱۰۱۷	GDD از روز اول پس از کاشت تا گلدهی
درجه سانتی‌گراد	۱۱۰۰	۱۰۶۸	GDD از روز اول پس از کاشت تا حداکثر پوشش گیاهی
درجه سانتی‌گراد	۱۶۴۹	۱۶۰۹	GDD از روز اول پس از کاشت تا شروع زوال گیاه
درجه سانتی‌گراد	۲۴۷۰	۲۴۵۵	GDD از روز اول پس از کاشت تا رشد کامل
درصد	۰/۳۰	۰/۳۱	پوشش گیاهی اولیه
درصد	۸۰	۸۰	حداکثر پوشش گیاهی
درصد بر روز	۱۲/۰	۱۲/۵	ضریب رشد پوشش گیاهی
درصد بر GDD	۰/۳	۰/۳	ضریب کاهش پوشش گیاهی
متر	۱	۱	حداکثر عمق توسعه ریشه
متر	۰/۱	۰/۱	حداقل عمق توسعه ریشه
-	۱/۵	۱/۵	فاکتور شکل برای توسعه ریشه
گرم بر مترمربع	۱۷	۱۷	بهره‌وری آب نرمال شده
درصد	۷۰	۷۰	شاخص برداشت
-	۱/۰۵	۱/۰۵	ضریب تعرق گیاهی
-	۰/۲۵	۰/۲۵	آستانه بالا برای توسعه پوشش گیاهی
-	۰/۶۵	۰/۶۵	آستانه پایین برای توسعه پوشش گیاهی
-	۳/۵	۳/۵	ضریب شکل برای توسعه پوشش گیاهی
-	۰/۶۵	۰/۶۵	آستانه بالا برای بسته شدن روزنه‌ها
-	۲/۲	۲/۵	ضریب شکل برای بسته شدن روزنه‌ها
-	۰/۶۵	۰/۶۵	آستانه بالا برای زوال گیاه
-	۲/۵	۲/۵	فاکتور شکل برای زوال گیاه
-	۹	۹	حد آستانه بالای تحمل شوری
-	۳۰	۳۰	شوری عصاره اشباع برای توقف رشد
-	۲/۱	۲/۵	فاکتور شکل برای تنش شوری

جدول (۴): شاخص‌های آماری مدل AquaCrop در مرحله واسنجی

پارامتر	توضیحات	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d	R <sup>2</sup>
عملکرد	خورشید	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۴	۰/۷۸	۰/۹۹	۰/۹۸
بهره‌وری آب	خورشید	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۶۶	۰/۹۹	۰/۹۸
پوشش گیاهی	خورشید	۳/۳	۶/۲	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	۳/۱	۶/۰	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۹۹	۰/۹۸
بیوماس	خورشید	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	۰/۵۰	۰/۷۲	۰/۲۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۵
آب کارون	خورشید	۰/۵۰	۱/۸	۰/۳۰	۰/۷۴	۰/۹۸	۰/۱۹
شوری خاک	تلفیقی	۰/۸۶	۱/۹	۰/۳۰	۰/۷۳	۰/۹۸	۰/۴۵
زهاب	زهاب	۱/۸	۳/۳	۰/۴۷	۰/۳۰	۰/۹۶	۰/۳۴

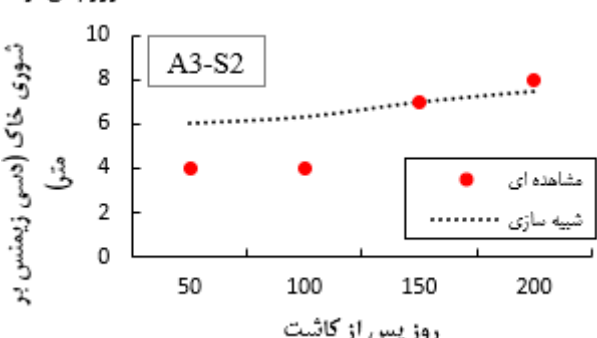
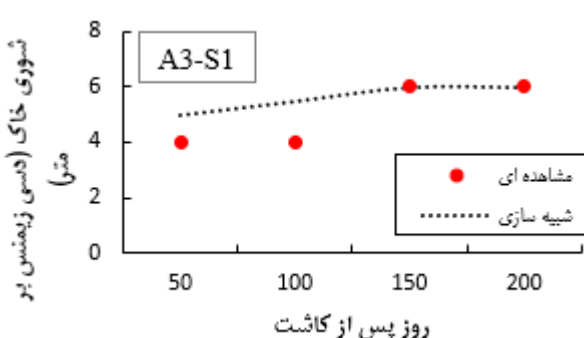
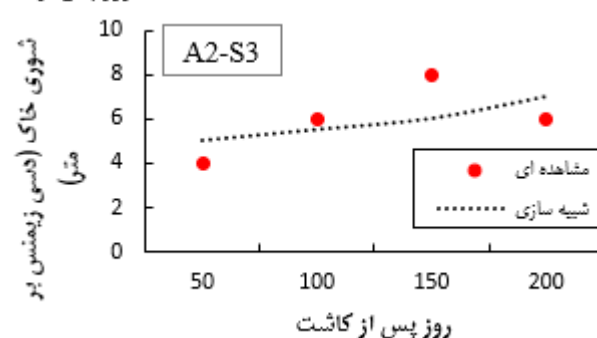
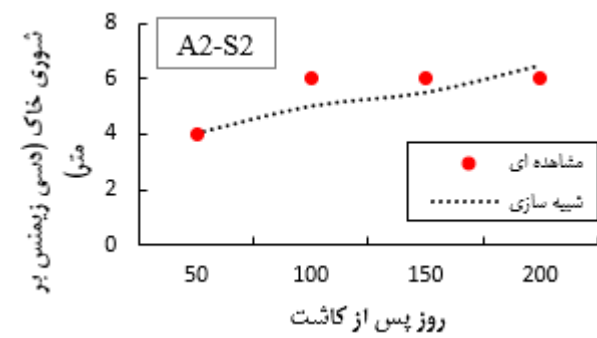
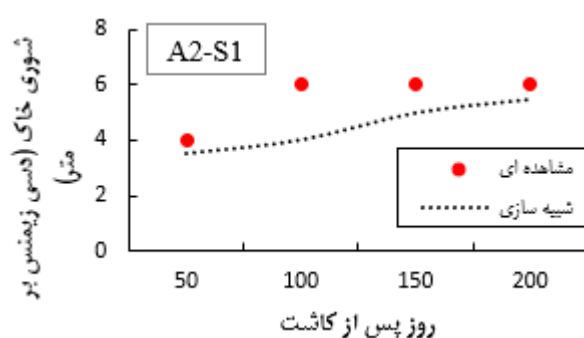
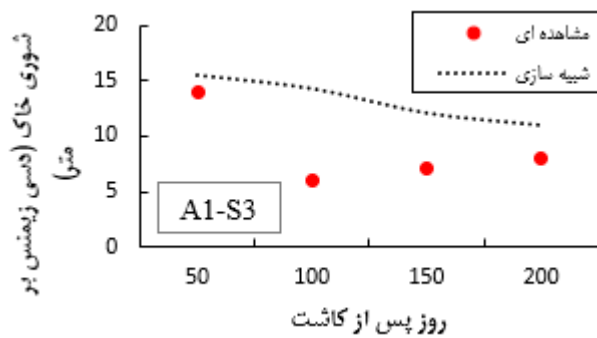
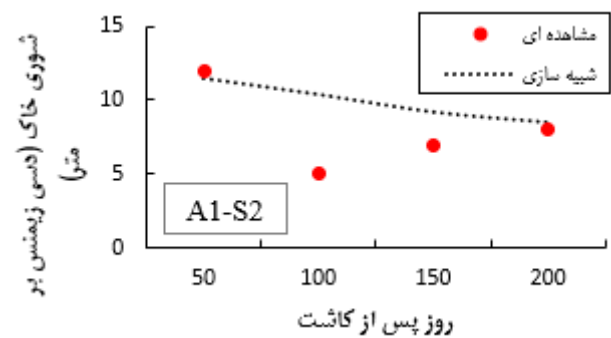
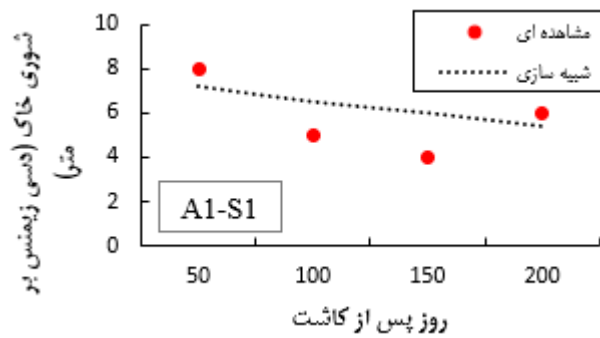


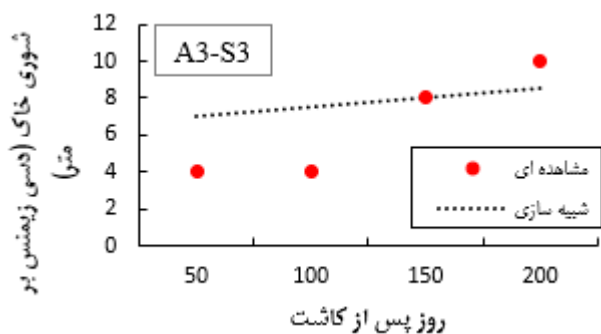


شکل (۳): همبستگی مقادیر پارامترهای مختلف در مرحله واسنجی

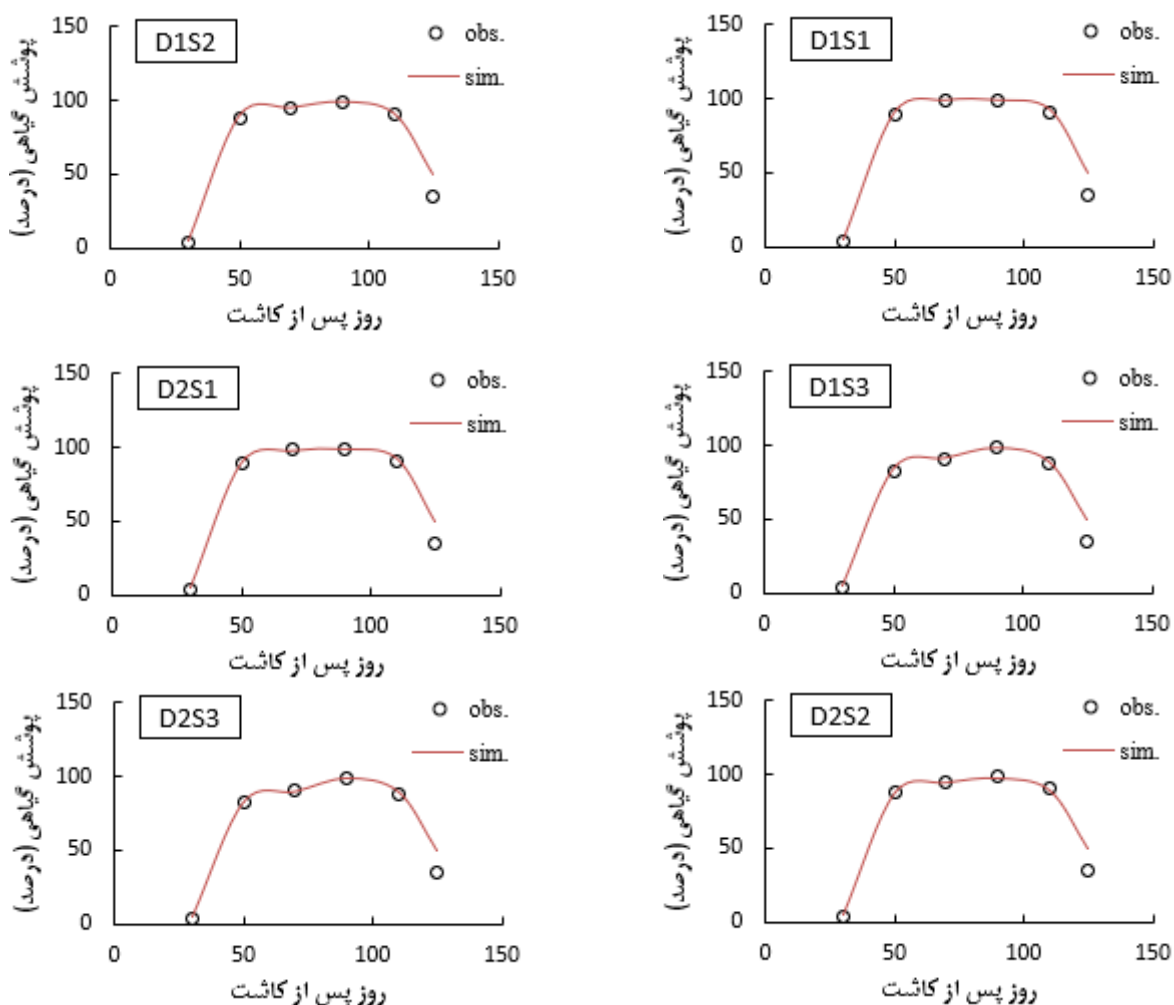
همین دلیل است. مدل AquaCrop برای برآورد پوشش گیاهی و بیوماس هر دو رقم خورشید و گلستان دچار خطای بیش‌برآوردی گردید. در مرحله‌ی زوال گیاه، مدل AquaCrop بیش‌برآوردی بیشتری نسبت به سایر دوره‌های رشد پنبه داشت. علت آن احتمالاً به دلیل کم‌برآوردی در مقدار ضریب تعرق گیاهی نسبت به مقدار پیش‌فرض است. این موضوع توسط سایر محققان از جمله Hsiao et al., (2009) و Tan et al., (2018) نیز گزارش شده است. با این وجود، اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده اندک بود. به همین دلیل، نتایج به دست آمده نشان داد که این مدل به خوبی روند تغییرات پوشش گیاهی و زیست‌توده را شبیه‌سازی می‌کند. این نتایج در جدول (۴) نیز به دست آمده بود.

تغییرات شوری خاک، پوشش گیاهی و بیوماس در طول دوره رشد در مرحله واسنجی به ترتیب در شکل‌های (۴) تا (۸) نشان داده شده است. در عمق ۳۰ سانتی‌متری، مدل AquaCrop برای برآورد شوری خاک دچار خطای کم‌برآوردی شد. لیکن در عمق ۶۰ سانتی‌متری این مدل دچار خطای بیش‌برآوردی گردید. در عمق ۹۰ سانتی‌متر، مدل AquaCrop در ابتدای دوره رشد دچار خطای کم-برآوردی و در انتهای دوره رشد دچار خطای بیش‌برآوردی شد. در هر سه عمق مورد مطالعه، تغییرات شوری خاک در طول دوره رشد گیاه تغییرات متعددی داشت. این موضوع در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک بیشتر از دو عمق دیگر بود و به همین دلیل اختلاف بین شوری خاک مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده زیاد بود. پایین بودن ضریب تبیین برای برآورد شوری خاک در جدول (۴) نیز به

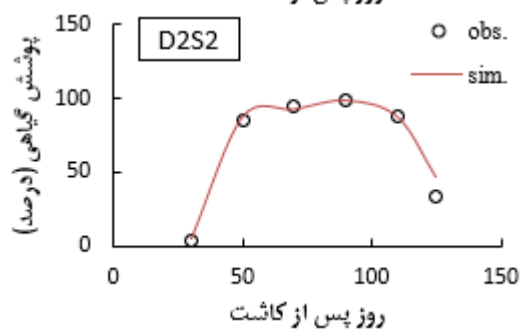
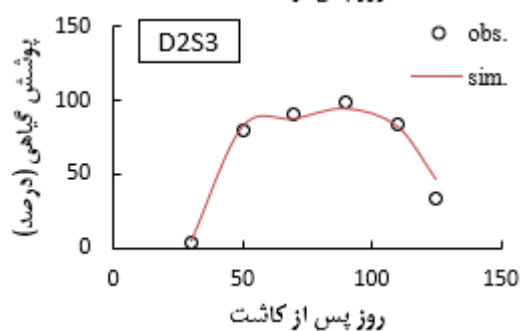
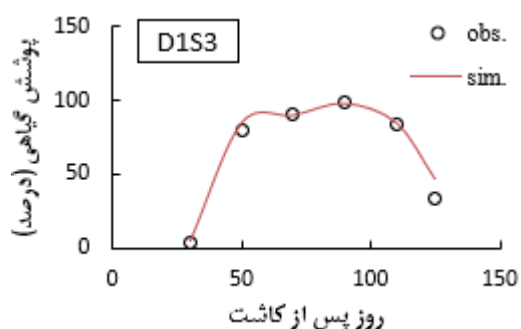
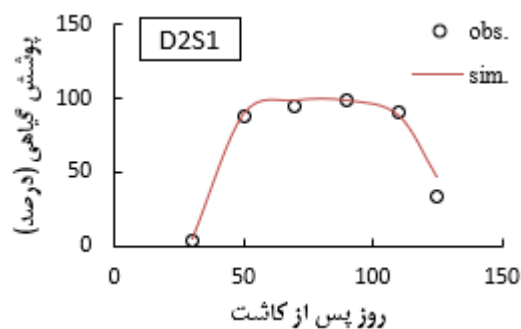
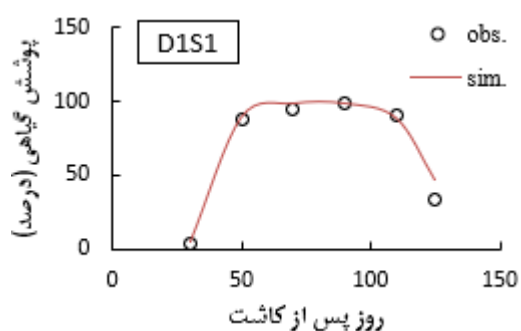
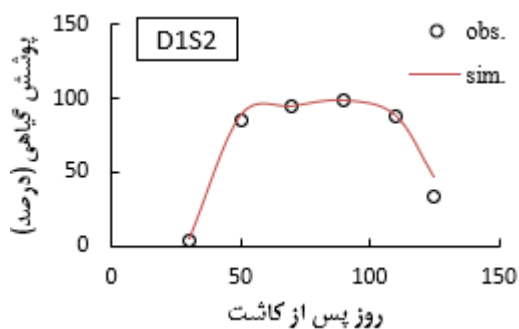




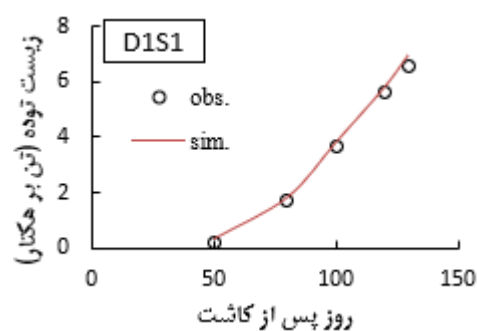
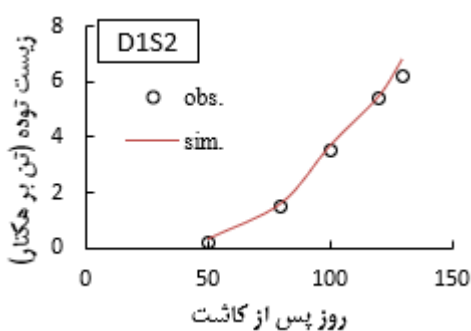
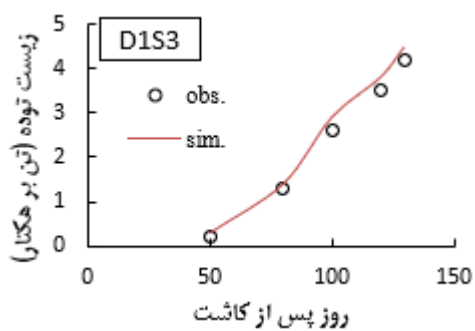
شکل (۴): شوری خاک مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در مرحله واسنجی (A1، A2 و A3 به ترتیب اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر است)

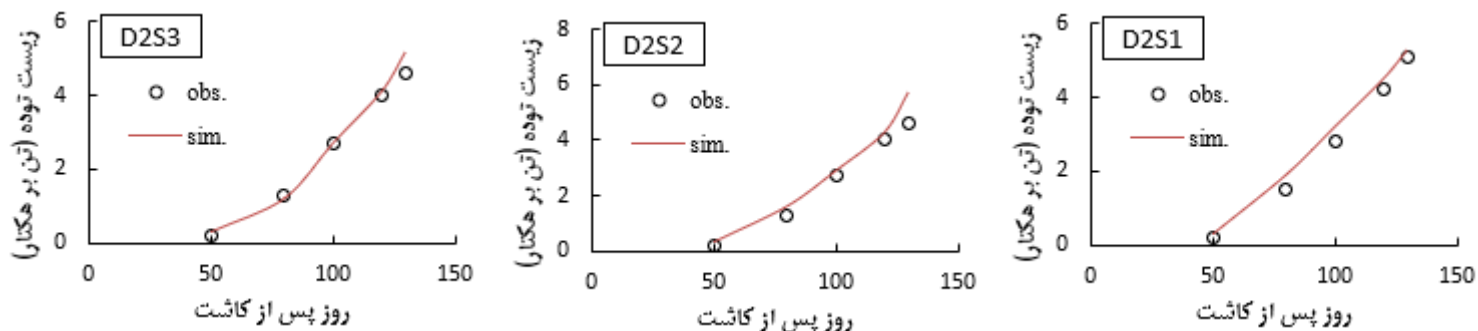


شکل (۵): تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره رشد برای رقم خورشید در مرحله واسنجی

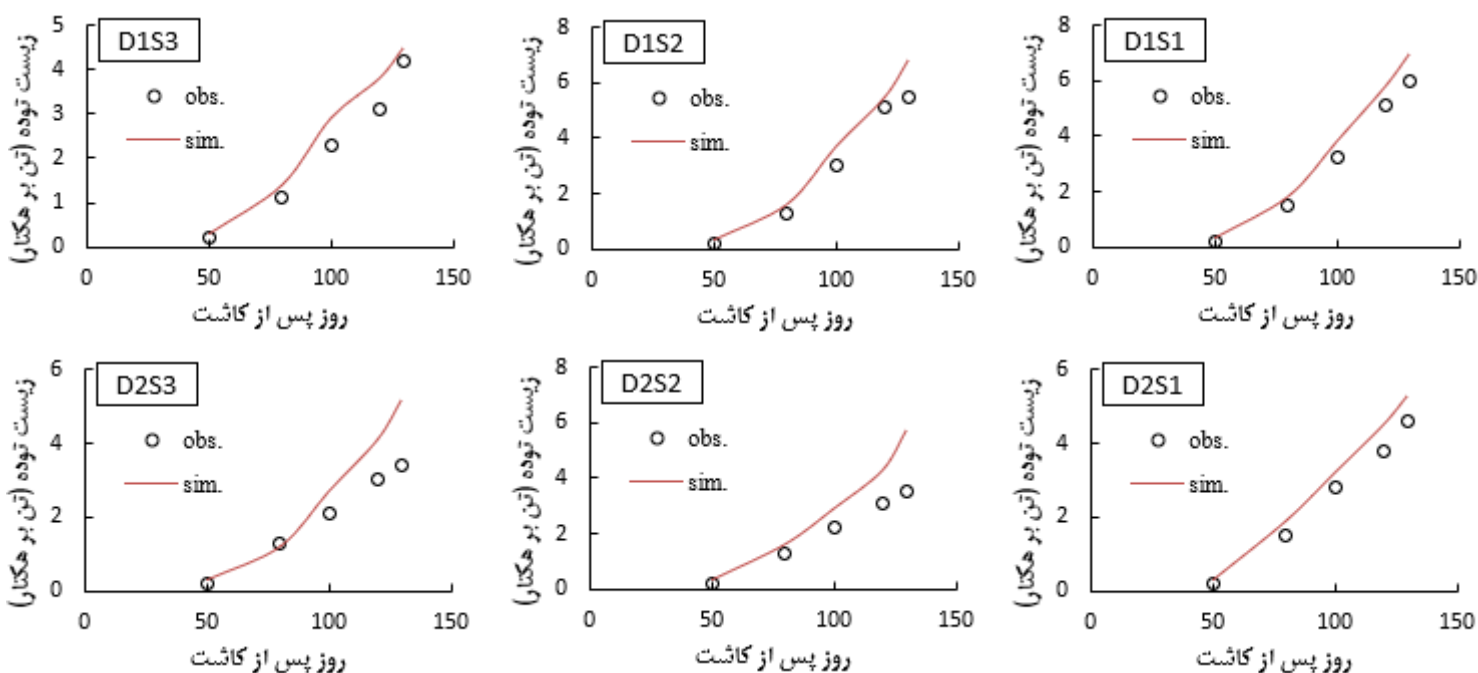


شکل (۶): تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره رشد برای رقم گلستان در مرحله واسنجی





شکل (۷): تغییرات بیوماس در طول دوره رشد برای رقم خورشید در مرحله واسنجی



شکل (۸): تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره رشد برای رقم گلستان در مرحله واسنجی

خورشید از ضریب تبیین بهتری برخوردار بود. گرچه دقت و کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی بهره‌وری آب هر دو رقم مطلوب بود. مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی و بیوماس هر دو رقم خورشید و گلستان دچار خطای بیش‌برآوردی گردید لیکن دقت آن برای شبیه‌سازی این دو پارامتر به ترتیب عالی ( $NRMSE < 0.1$ ) و خوب ( $0.1 < NRMSE < 0.2$ ) بود. با افزایش شوری آب آبیاری از S1 به S3، ضریب تبیین مدل AquaCrop برای برآورد شوری خاک کاهش یافت (شکل ۹). همچنین، دقت این مدل برای برآورد شوری خاک در هر سه تیمار شوری قابل اعتماد نبود. شرایط آبیاری و ورود نمک به خاک در مدل AquaCrop به درستی شبیه‌سازی نشد و احتمالاً به همین دلیل سایر محققان از

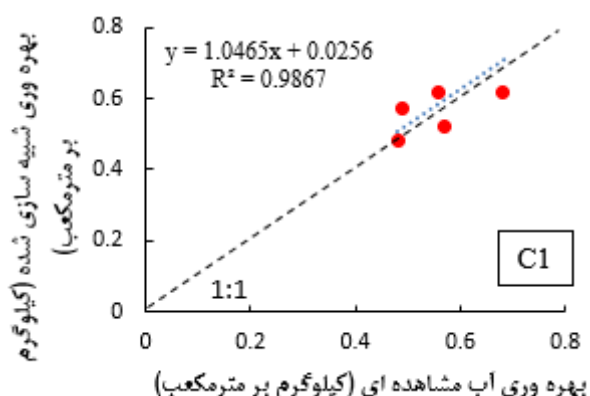
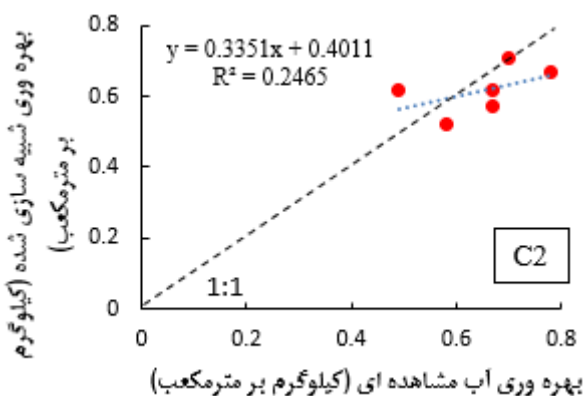
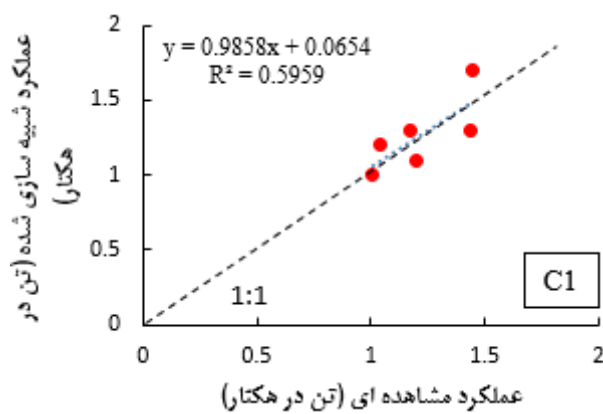
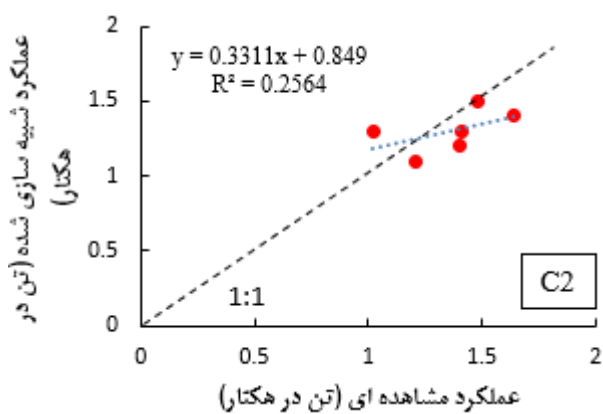
با توجه به نتایج قابل قبول مدل AquaCrop در مرحله واسنجی، این مدل با استفاده از داده‌های به دست آمده در سال دوم صحت‌سنجی گردید. نتایج آماری به دست آمده در جدول (۵) نشان داده شده است. این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد رقم خورشید دچار خطای بیش‌برآوردی و برای شبیه‌سازی رقم گلستان دچار خطای کم‌برآوردی گردید. البته مقادیر NRMSE برای هر دو رقم بین ۰/۱-۰/۲ قرار داشت و به همین دلیل مدل AquaCrop دقت خوبی در شبیه‌سازی عملکرد هر دو رقم نشان داد. لیکن ضریب تبیین برای رقم خورشید حدود ۱۳۶ درصد بیشتر از گلستان بود. کارایی مدل AquaCrop برای هر دو رقم قابل قبول بود. همین رویه برای بهره‌وری آب در هر دو رقم مشاهده شد و رقم

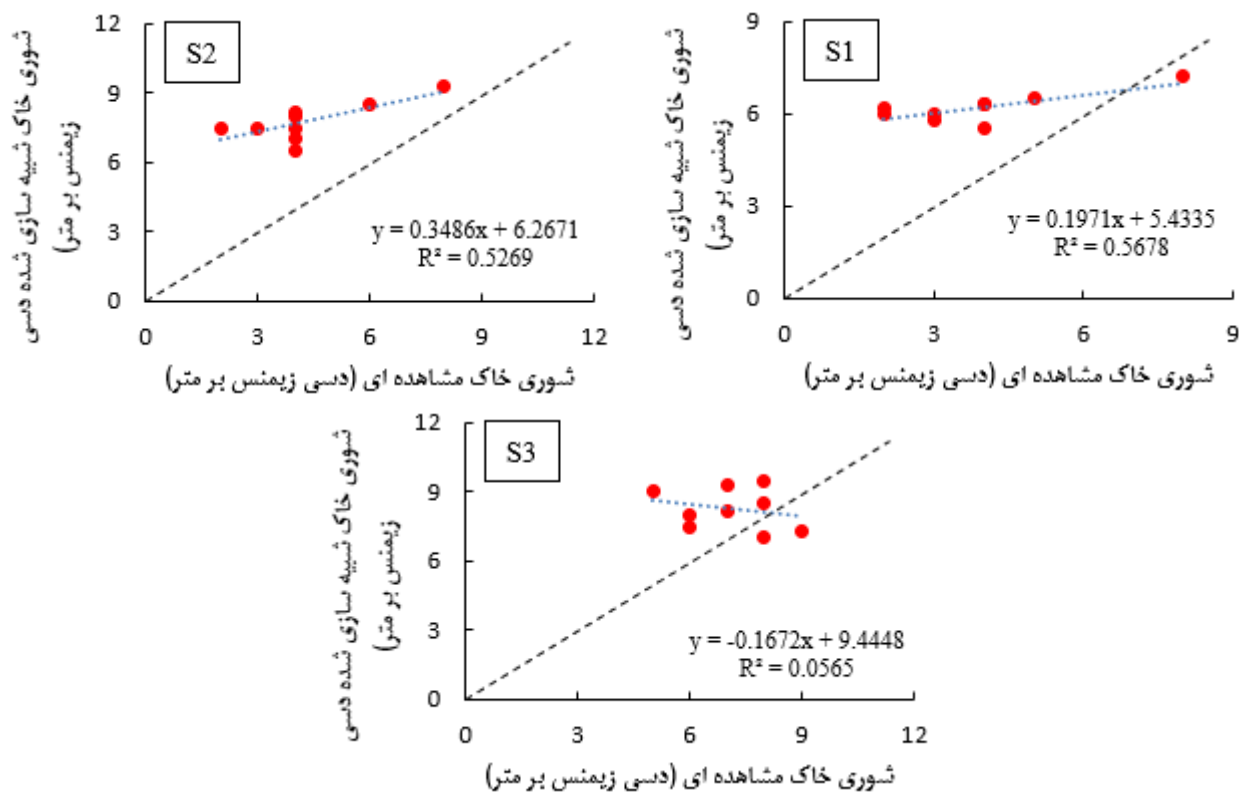
برخی محققان از جمله (Tan et al., 2018) و (He et al., 2018) این اختلاف را به دلیل ضعف مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رشد ریشه و جذب آب گزارش کرده‌اند.

جمله (Tan et al., 2016) و (Mohammadi et al., 2016) گزارش‌های مشابه ارائه کرده‌اند. البته این محققان، وقوع بارندگی در طول فصل رشد پنبه را نیز از جمله علل اختلاف زیاد ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده-ای و شبیه‌سازی شده در مدل AquaCrop بیان کردند.

جدول (۵): شاخص‌های آماری مدل AquaCrop در مرحله صحت‌سنجی

پارامتر	توضیحات	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d	R <sup>2</sup>
عملکرد	خورشید	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۹۹	۰/۵۹
	گلستان	-۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۹۹	۰/۲۵
بهره‌وری آب	خورشید	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	-۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۹۹	۰/۲۴
پوشش گیاهی	خورشید	۳/۶	۵/۰	۰/۰۷	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	۲/۶	۴/۷	۰/۰۷	۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۹۸
بیوماس	خورشید	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	گلستان	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷
شوری خاک	آب کارون	۲/۳	۲/۷	۰/۶۹	-۰/۱۴	۰/۹۳	۰/۵۶
	تلفیقی	۳/۴	۳/۶	۰/۸۴	-۱/۴	۰/۹۱	۰/۵۲
	زهاب	۱/۱	۱/۹	۰/۲۷	۰/۸۱	۰/۹۸	۰/۰۵



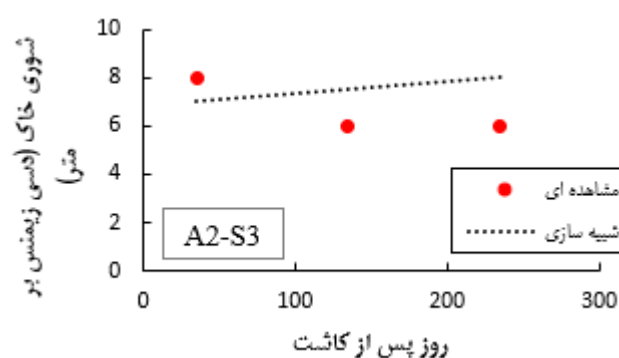
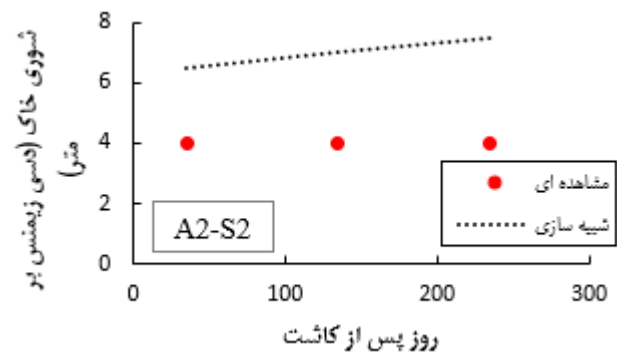
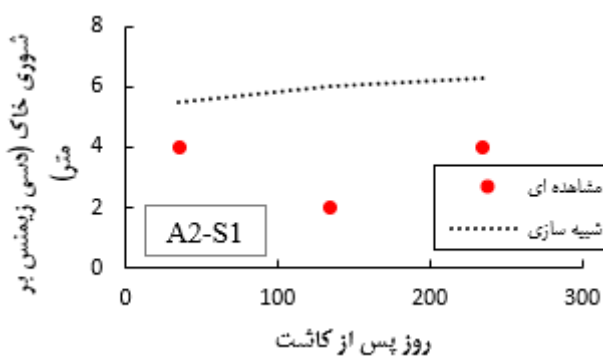
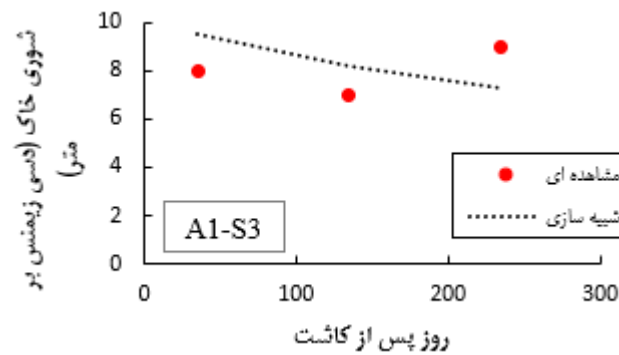
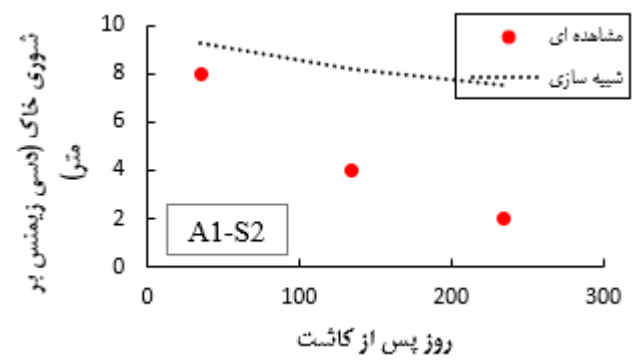
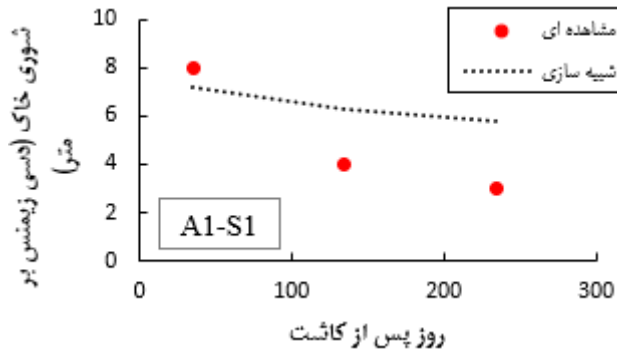


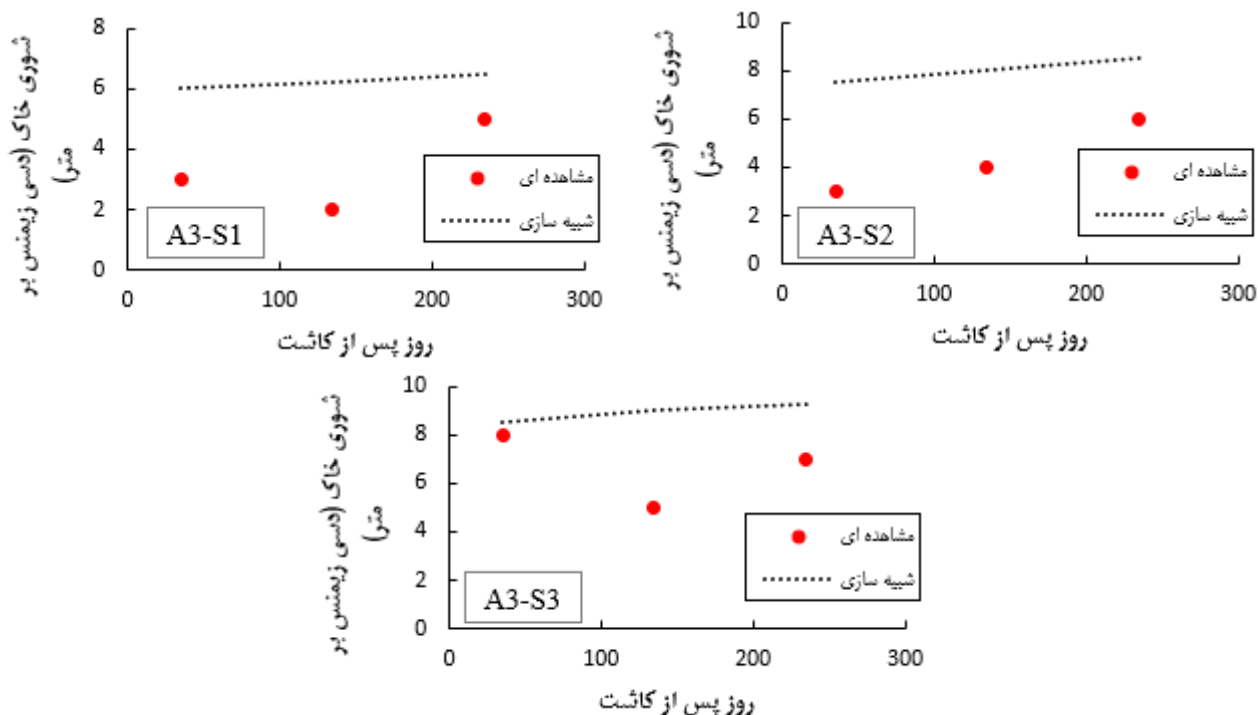
شکل (۹): همبستگی مقادیر پارامترهای مختلف در مرحله صحت‌سنجی

مشاهده‌ای در روز پنجاهم پس از کاشت گردید. در روز هفتادم پس از کاشت، پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده کاهش محسوسی در هر سه تیمار شوری نشان داد که احتمالاً به دلیل افزایش مقدار شوری خاک و ایجاد تنش شوری بود. این شرایط برای رقم گلستان نیز مشاهده شد ولی شرایط توسعه پوشش گیاهی در این رقم در هر سه تیمار شوری مشابه بود. پایین بودن مقدار RMSE پوشش گیاهی برای این رقم نیز به همین دلیل است (جدول ۵). با این وجود، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی بیوماس رقم خورشید اندکی بهتر از رقم گلستان بود. مقایسه‌ی RMSE عملکرد این دو رقم در جدول (۵) نیز نشان می‌دهد که عملکرد رقم خورشید با دقت بیشتری نسبت به گلستان شبیه‌سازی شده است. مقایسه‌ی دو تاریخ کاشت D1 و D2 در شکل‌های (۱۱) و (۱۴) نشان داد که تفاوت محسوسی بین نتایج پوشش گیاهی و بیوماس شبیه‌سازی شده وجود نداشت. البته در نتایج مزرعه‌ای نیز عملکرد در دو تاریخ کاشت بسیار نزدیک به هم بود (روشنی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مختاران و طاوسی، ۱۳۹۹؛ مختاران و قربانی نصرآباد، ۱۴۰۰).

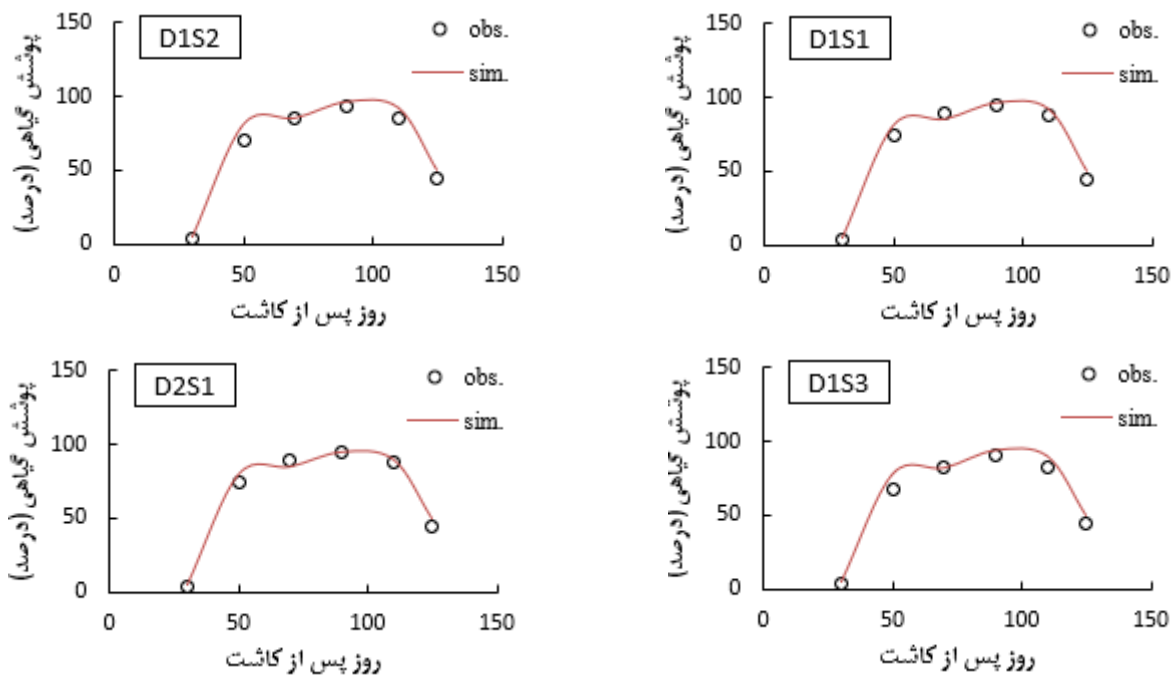
تغییرات شوری خاک، پوشش گیاهی و بیوماس در طول دوره رشد پنبه در مرحله صحت‌سنجی در شکل‌های (۱۰) تا (۱۴) نشان داده شده است. در هر سه عمق خاک، مدل AquaCrop دچار خطای بیش‌برآوردی گردید ولی اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در عمق ۹۰ سانتی‌متر بیشتر از دو عمق دیگر بود. مقادیر پوشش گیاهی و بیوماس مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده نزدیک به هم بود و همین دلیل مقدار RMSE در جدول (۵) برای این دو پارامتر به ترتیب در محدوده ۴/۷-۵/۰ درصد و ۰/۰-۲۰/۲۳ تن بر هکتار بود. با توجه به خطای پایین مدل AquaCrop در برآورد پوشش گیاهی، مقادیر بیوماس نیز از خطای پایینی برخوردار بود. محدوده گزارش شده RMSE برای بیوماس توسط Tan et al., (2018)، Tsakmakis et al., (2019)، Voloudakis et al., (2015) و Hussein et al., (2011) بین ۰/۱۷ تا ۲/۵۲ تن در هکتار بود. بنابراین دقت مدل AquaCrop در برآورد این پارامتر قابل قبول بود.

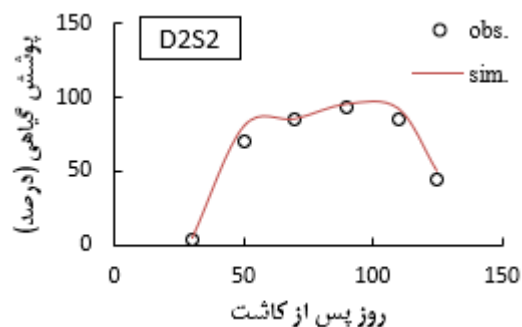
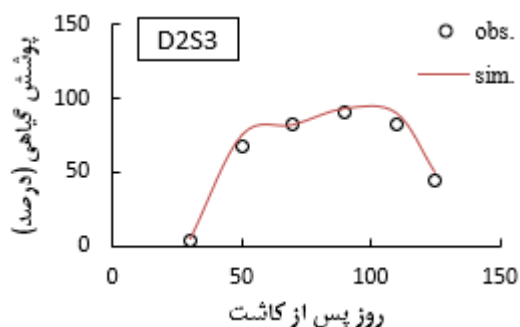
در رقم خورشید، افزایش شوری از S1 به S3 سبب اندکی اختلاف بین پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و



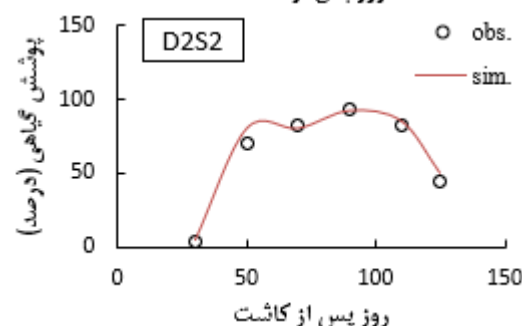
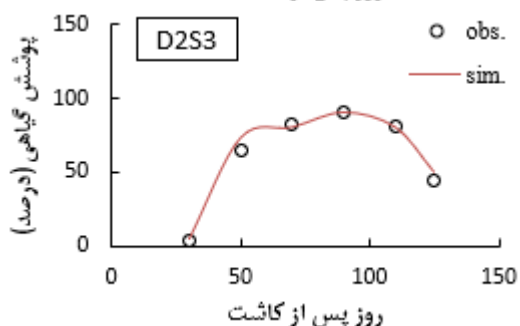
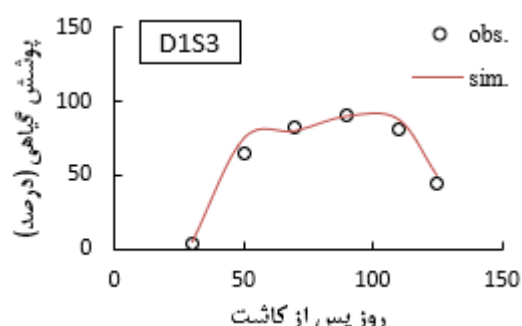
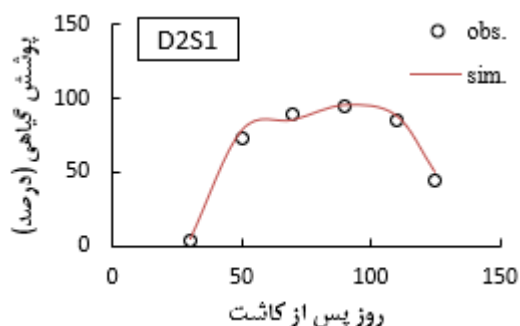
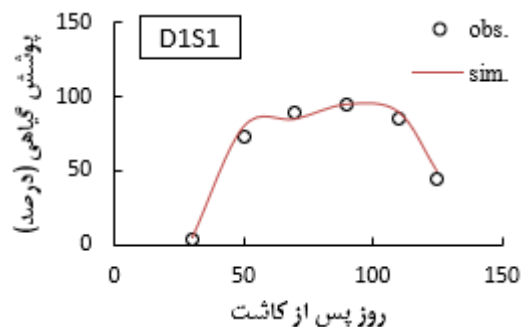
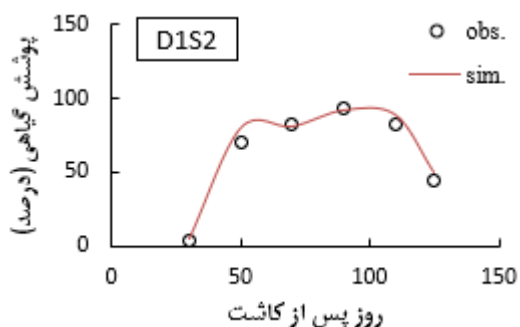


شکل (۱۰): شوری خاک مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در مرحله صحت‌سنجی (A1، A2 و A3 به ترتیب اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر است)

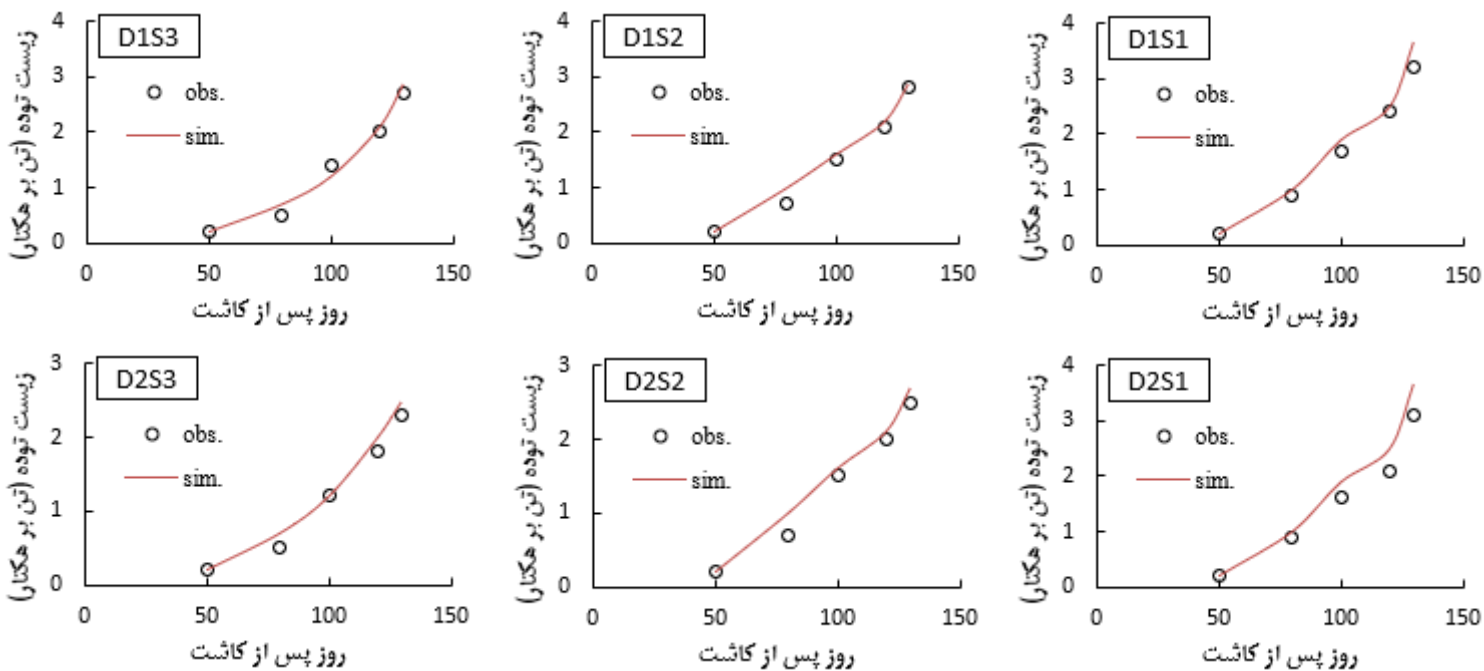




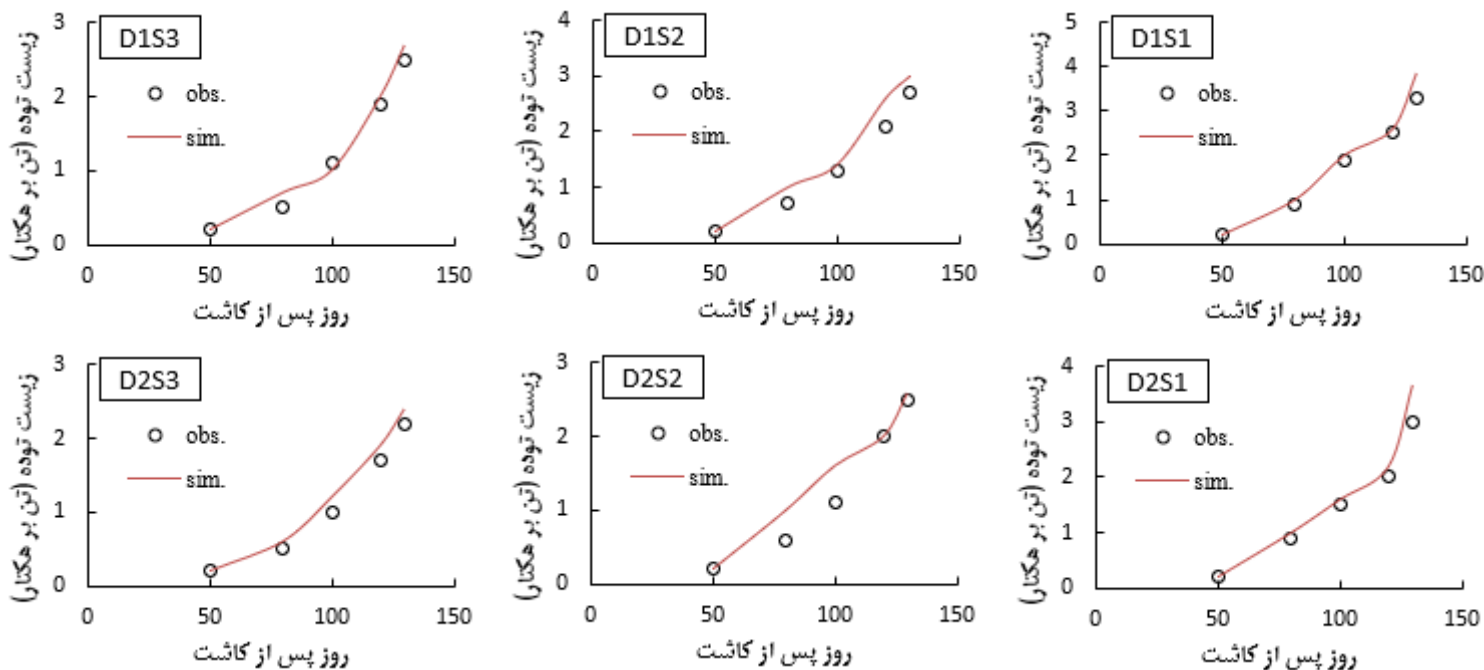
شکل (۱۱): تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره رشد برای رقم خورشید در مرحله صحت‌سنجی



شکل (۱۲): تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره رشد برای رقم گلستان در مرحله صحت‌سنجی



شکل (۱۳): تغییرات بیوماس در طول دوره رشد برای رقم خورشید در مرحله صحت‌سنجی



شکل (۱۴): تغییرات پوشش گیاهی در طول دوره رشد برای رقم گلستان در مرحله صحت‌سنجی

### نتیجه‌گیری

برخوردار بود. مقادیر  $0 < MBE$  برای پیش‌بینی عملکرد این دو رقم نشان داد که مدل AquaCrop دچار خطای بیش‌برآوردی گردید. این نتایج برای شبیه‌سازی بهره‌وری آب، پوشش گیاهی و بیوماس پنبه نیز مشاهده گردید. با وجود دقت بیشتر مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی رقم گلستان، دقت این مدل در برآورد

این تحقیق به منظور ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی دو رقم پنبه تحت شرایط شوری و دو تاریخ کاشت مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد هر دو رقم پنبه از دقت ( $NRMSE < 0.2$ ) و کارایی ( $d > 0.99$ ) خوبی

به نتایج مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی شوری خاک اعتماد کرد ولی این مدل قابلیت خوبی برای شبیه‌سازی عملکرد، بهره‌وری آب، پوشش گیاهی و بیوماس پنبه دارد. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد و رشد پنبه در سایر مناطق استفاده گردد ولی برای شبیه‌سازی شوری به سایر مدل‌های در دسترس رجوع گردد.

عملکرد و بیوماس رقم خورشید بیشتر بود. مدل AquaCrop برآورد ضعیفی از شوری خاک در هر سه عمق ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر داشت به طوری که مقدار NRSME برای این سه عمق به ترتیب برابر با ۰/۳۰، ۰/۳۰ و ۰/۴۷ بود. تغییر تاریخ کاشت اثری بر دقت و کارایی مدل AquaCrop نداشت و روند توسعه پوشش گیاهی و بیوماس هر دو رقم پنبه در تاریخ‌های D1 و D2 مشابه بود. با توجه به کلیه نتایج، به نظر می‌رسد نمی‌توان

## منابع

- ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، ا. اگدرنژاد، آ. تافته، م. احمدی. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFOST، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳-۷۵): ۷۱۵-۷۲۶.
- ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، م. احمدی، ا. اگدرنژاد، ع. خاشعی سیوکی. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف ژئولیت. حفاظت منابع آب و خاک. ۱۳(۱): ۱۱۷-۱۳۲.
- احمدی، م.، م. قنبرپوری، ا. اگدرنژاد. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. مدیریت آب در کشاورزی. ۱۳(۱): ۱۵-۳۰.
- اگدرنژاد، ا.، ن. ع.، ابراهیمی‌پاک، آ. تافته، م. احمدی. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مدیریت آب در کشاورزی. ۱۳(۲-۱۰): ۵۳-۶۴.
- روشنی، ق.، مختاران، ع.، قربانی نصرآباد، ق. ۱۳۹۷. ارزیابی کمی و کیفی ارقام تجاری پنبه در شرایط آبیاری با استفاده از زه‌آب کشت نیشکر در جنوب خوزستان، طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره مصوب: ۰۷-۳۴-۰۷۱۴-۰۲۱-۰۹۶۱۷۱۷.
- مختاران، ع.، طاوسی، م. ۱۳۹۹. بررسی اثر استفاده از زهاب مزارع نیشکر در کشت زمستانه ژنوتیپ‌های مختلف کینوا و تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت در جنوب خوزستان، طرح تحقیقاتی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره مصوب: ۰۹۷-۰۹۷۱۳۹۷-۱۴۰۳-۴۶-۳۴.
- مختاران، ع.، قربانی نصرآباد، ق. ۱۳۹۹. استفاده از زه‌آب نیشکر در کشت ارقام مختلف پنبه با سه تاریخ کاشت متفاوت در اراضی جنوب خوزستان، طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره مصوب: ۰۷۵-۱۴۰۷-۴۶-۳۴-۰۷۱۳۱۴-۰۹۷۱۳۱۴.
- Ahmadi, S.H., Mosallaeepour, E., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., 2015. Modeling maize yield and soil water content with AquaCrop under full and deficit irrigation managements. *Water Resour. Manag.* 29 (8), 2837–2853.
- Assouline, S., Russo, D., Silber, A., Or, D., 2015. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture. *Water Resour. Res.* 5, 3419–3436.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1999. A qualidade da água na agricultura. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- Farahani, H.J., Izzi, G., Oweis, T.Y., 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agron. J.* 101, 469–476.
- Garcia-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F., Steduto, P., 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agron. J.* 101, 477–487.
- He, Q., Li, S., Kang, S., Yang, H., Qin, S., 2018. Simulation of water balance in a maize field under film-mulching drip irrigation. *Agric. Water Manag.* 210, 252–260.



- Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agron. J.* 101 (3), 448–459.
- Huang, M., Zhang, Z., Sheng, Z., Zhu, Z., Zhai, Y., Lu, P., Brinkman, D., 2019. Soil salinity and maize growth under cycle irrigation in coastal soils. *Agron. J.* 111 (5): 2276-2286.
- Hussein, F., Janat, M., Yakoub, A., 2011. Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model. *Span. J. Agric. Res.* 9 (4), 1319–1330.
- Li, N., Li, Y., Yang, Q., Biswas, A., Dong, H. 2024. Simulating climate change impacts on cotton using AquaCrop model in China, *Agricultural Systems*, 216. 103897.
- Li, Y., Li, N., Javed, T., Pulatov, A. S., Yang, Q. 2024, Cotton yield responses to climate change and adaptability of sowing date simulated by AquaCrop model, *Industrial Crops and Products*, 212. 118319.
- Minhas, P.S., 1996. Saline water management for irrigation in India. *Agric. Water Manag.* 30 (1), 1–24.
- Mohammadi, M., Ghahraman, B., Davary, K., Ansari, H., Shahidi, A., Bannayan, M. 2016. Nested validation of AquaCrop model for simulation of winter wheat grain yield, soil moisture and salinity profiles under simultaneous salinity and water stress. *Irrig. Drain.* 65 (1), 112–128.
- Mondal, M.S., Saleh, A.F.M., Akanda, A.A.R., Biswas, S.K., Moslehuddin, A.Z.M. Zaman, S., Lazer, A.N., Clarke, D., 2015. Simulating yield response of rice to salinity stress with the AquaCrop model. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 1118.
- Nasrolahi, Al. H., Ahmadee, M., Rustum, R. 2024. Sensitivity Analysis of AquaCrop Model for Winter Wheat in Different Water Supply Conditions, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 150 (2), doi: <https://doi.org/10.1061/JIEDDH.IRENG-10099>.
- Oliveira W, Colares LF, Porto RG, Viana BF, Tabarelli M, Lopes AV. Food plants in Brazil: origin, economic value of pollination and pollinator shortage risk. *Sci Total Environ.* 2024 Feb 20; 912:169147. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.169147. Epub 2023 Dec 6. PMID: 38065486.
- Ozturk, O.F., Shukla, M.K., Stringam, B., Piccioni, G.A., Gard, C., 2018. Irrigation with brackish water changes evapotranspiration, growth and ion uptake of halophytes. *Agric. Water Manag.* 195, 142–153.
- Paiva, L.L., Dias, N.S., Farias, W.C., Medeiros, L.C., Ferreira, L.L., 2013. Tolerancia de cultivares de algodao ~ (*Gossypium hirsutum*) a ` salinidade da agua ´ de irrigação. *Rev. Verde De. Agroecol. e Desenvolv. Sustent.* 8, 232–237.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2009. AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water. II Main Algorithms and Software Description. *Agron. J.* 101, 438–447.
- Ren, F., Yang, G., Li, W., He, X., Gao, Y., Tian, L., Li, F., Wang, Z., Liu, S., 2021. Yield-compatible salinity level for growing cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under mulched drip irrigation using saline water. *Agric. Water Manag.* 250, 106859.
- Skaggs, T.H., Anderson, R.G., Corwin, D.L., Suarez, D.L., 2014. Analytical steady-state solutions for water-limited cropping systems using saline irrigation water. *Water Resour. Res.* 50, 9656–9674.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water. I. Concepts and Underlying Principles. *Agron. J.* 101: 426-437.
- Tan, S., Wang, Q., Zhang, J., Chen, Y., Shan, Y., Xu, D., 2018. Performance of AquaCrop model for cotton growth simulation under film-mulched drip irrigation in southern Xinjiang, China. *Agric. Water Manag.* 196, 99–113.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 20260–20264.
- Tsakmakis, I.D., Kokkos, N.P., Gikas, G.D., Pisinaras, V., Hatzigiannakis, E. Arampatzis, G., 2019. Evaluation of AquaCrop model simulations of cotton growth under deficit irrigation with an emphasis on root growth and water extraction patterns. *Agric. Water Manag.* 213, 419–432.



Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kalivas, D., Vahamidis, P., Kotoulas, V. Kapsomenakis, J., Zerefos, C., 2015. Prediction of climate change impacts on cotton yields in Greece under eight climatic models using the AquaCrop crop model and discriminant function analysis. *Agric. Water Manag.* 147, 116–128.

Wang, D., Gao, Y., Li, M., Sturrock, C.J., Gregory, A.S., Zhang, X., 2020. Change in hydraulic properties of the rhizosphere of maize under different abiotic stresses. *Plant Soil* 452, 615–626 .

Wang, X., Jiang, F., Wang, H., Cao, H., Yang, Y., Gao, Y., 2021. Irrigation scheduling optimization of drip-irrigated without plastic film cotton in south Xinjiang based on AquaCrop model. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 52 (4), 293–301 .

Xu, P., Wang, P., Liu, H., Ning, H., Wang, J. 2025. Evaluation and application of AquaCrop in simulation of alternate irrigation with brackish and fresh water for cotton under mulch drip irrigation in Southern Xinjiang, *Industrial Crops and Products.* 225. 120548.

Yang, G., Li, F., Tian, L., He, X., Gao, Y., Wang, Z., Ren, F., 2020. Soil physicochemical properties and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield under brackish water mulched drip irrigation. *Soil Tillage Res.* 199, 104592 .

Zhang, J., Feng, D., Zheng, C., Sun, C., Sun, J., Gao, Y., 2014. Effects of saline water irrigation on soil water-heat-salt variation and cotton yield and quality. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 39 (5), 108–111.

Zhang, J., Li, K., Gao, Y., Feng, D., Zheng, Ch., Cao, C., Sun, J., Dang, H., Hamani, A. K. M. 2022. Evaluation of saline water irrigation on cotton growth and yield using the AquaCrop crop simulation model, *Agricultural Water Management*, 261. 107355.

Zheng, C., Feng, D., Li, K., Ma, J., Dang, H., Cao, C., Sun, J., Zhang, J., 2020. Effects of furrow irrigation with saline water on variation of soil water-salt, cotton growth and yield. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 36 (13), 92–101.