Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

# The effect of soil salinity and water quality on *saffron daughter* corms using crop modeling and measured data

**Mahdi Gholami Sharafkhane [1], Ali Naghi Ziaei [2*], Seyed Mohammadreza Naghedifar [3], Amir Akbari [1]**

[1] Former M.Sc. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[2] Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University Mashhad, Mashhad, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

## Extended Abstract

### Introduction

About 70% of the total freshwater withdrawal from resources is used in the agricultural sector. Water and soil salinity are of the most important problems in the agricultural sector in arid and semi-arid regions. In such areas that are facing water shortages, saline water is commonly used in irrigated lands and it will be of great help in preserving freshwater resources. Crop modeling in combination with field measurements is an efficient method to improve water productivity in the field and investigate the crop's biological response to different field conditions. Several crop models have been developed for crop growth simulation. Among these models, the AquaCrop software has been widely studied in recent years. AquaCrop software can simulate the growth process under different conditions with few input data points that can be easily measured in the field. Few studies have been conducted on saffron crop modeling with AquaCrop software, but this model has not yet been calibrated to simulate salinity during the growing season. This research was carried out to calibrate the AquaCrop software for simulating the variations in soil salinity in the root zone of two-year-old saffron. In addition, in the present study, the effect of different levels of salinity and the application of different levels of organic mulch and their mutual effect on the yield of daughter corms, biomass, and water productivity were investigated.

### Material and Methods

To calibrate the AquaCrop software for two-year saffron during the growing season in the research farm of the Ferdowsi University of Mashhad (FUM), growth parameters of saffron crops, such as soil moisture and salinity, the dry weight of daughter corms, and the crop canopy cover were continuously measured during the growing season. Soil moisture and salinity were measured at least once a week, and the dry weight of daughter corms was measured biweekly. After model calibration, the accuracy of the model for simulating soil salinity during the growing season was evaluated by comparing the measured and simulated values. Statistical indicators of Pearson correlation coefficient, root mean square error, and Nash Sutcliffe model efficiency coefficient were used to evaluate the accuracy of the crop model simulation. The model was subsequently run for different initial conditions of soil salinity and irrigation water salinity. The dry weight of the daughter corm, biomass, and evapotranspiration (ET) water productivity were monitored for different conditions. Then, the model was run in the same conditions of water and soil salinity under the application of organic mulch, and the effect of mulch on the yield of daughter corms and evapotranspiration water productivity under salinity stress was investigated.

### Results and Discussion

The statistical indicators between the measured and simulated values of soil moisture, canopy cover, and biomass confirmed the capability of AquaCrop for simulating saffron growth. Then, according to the measured salinity values of the root zone using the TDR sensor, AquaCrop was recalibrated to simulate soil salinity. Afterward, the changes in the measured salinity values of the root zone during the growing season were compared with the values simulated by AquaCrop. The Pearson correlation coefficient for measured and simulated soil salinity by the software was 0.9, and the root mean square error was 0.086 dS $m^{-1}$. Nash–Sutcliffe efficiency was 0.66, showing the high accuracy of AquaCrop for simulating soil salinity. The results of the crop growth simulation in saline conditions showed the sensitivity of saffron to salinity. The results showed that under no initial salinity (0.5 dS $m^{-1}$) in the soil, increasing the

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

salinity of irrigation water from 1 dS $m^{-1}$ to 4 dS $m^{-1}$ caused a decrease of 3.7% in the daughter corms weight. In addition, considering the initial salinity of 2 dS m-1, increasing the salinity of the irrigation water had a significant effect on reducing the daughter corm weight. In the presence of high-quality irrigation water (0.5 dS $m^{-1}$), increasing the initial salinity of the soil from no salinity (0.5 dS $m^{-1}$) to 4 dS $m^{-1}$ caused a 38% decrease in the weight of daughter corms. The effect of organic mulch was also evaluated under saline water irrigation conditions. The results showed that the use of organic mulch with 100% coverage in water and soil salinity conditions equal to 4 dS $m^{-1}$ could mitigate the effect of salinity stress by increasing the daughter corm weight 51%.

## Conclusion

Water and soil salinity and its related problems are limiting factors in agricultural production in arid and semi-arid regions. The expansion of irrigation methods with saline water without proper management can lead to the risk of soil quality loss and, in turn, the loss of agricultural lands in the long term. In this research, the AquaCrop model was calibrated to simulate soil salinity during the saffron growing season, and the effect of organic mulch on soil and water salinity conditions was evaluated for the yield of daughter corms. The findings of this research will be of great help to farmers and water experts in improving the performance of saffron in saline soil and irrigation water.

**Keywords:** AquaCrop, Organic Mulch, Saffron, Soil Salinity

**Article Type:** Research Article

## Acknowledgement

We would like to extend our heartfelt thanks to Ferdowsi University of Mashhad for their support throughout the research project.

## Conflicts of interest

The authors of the article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

## Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

## Authors' contribution

**Mahdi Gholami Sharafkhane**: Software and statistical analysis, writing and original draft preparation, methodology **Ali Naghi Ziaei**: Supervision, conceptualization, manuscript review and editing; **Seyed Mohammadreza Naghedifar**: Software, manuscript editing, methodology; **Amir Akbari**: Controlling the results, experiments.

*Corresponding Author, E-mail: an-ziaei@um.ac.ir

**Citation:** Gholami Sharafkhane, M., Naghi Ziaei, A., Naghedifar, S.M., & Akbari, A. (2025). The effect of soil salinity and water quality on saffron daughter corms using crop modeling and measured data. *Water and Soli Management and Modeling, 5(1),* 317- 334.
doi: 10.22098/mmws.2023.14109.1390

Received: 25 November 2023., Received in revised form: 16 December 2023, Accepted: 25 December 2023., Published online: 21 March 2025
*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 317-334
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

# بررسی تأثیر شوری خاک و کیفیت آب بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران با استفاده از مدل گیاهی و اندازه‌گیری میدانی

مهدی غلامی شرفخانه[۱]، علی نقی‌ضیایی[۲]*، سید محمدرضا ناقدی‌فر[۳]، امیر اکبری[۱]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۳] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

## چکیده

زعفران با توجه به نیاز آبی کم و ارزش اقتصادی بالا یکی از گیاهان مهم برای کاشت در مناطق خشک و نیمه خشک ایران است. شوری خاک و آب در این نواحی که با کمبود آب نیز روبه‌رو هستند، از عوامل کاهش عملکرد محصولات کشاورزی است. نرم‌افزار AquaCrop در پژوهشی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد برای شبیه‌سازی رطوبت خاک، زیست‌توده و سطح سایه‌انداز در طول فصل رشد زعفران دوساله، واسنجی شد. بر همین اساس، پژوهش حاضر به‌منظور واسنجی نرم‌افزار AquaCrop برای شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک برای زعفران دوساله در مزرعه ذکرشده، صورت گرفت. بدین‌منظور مقادیر شوری خاک در طول فصل رشد با تفکیک زمانی بالا اندازه‌گیری شد. شاخص‌های آماری محاسبه‌شده میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده شوری خاک نشان از دقت بالای این نرم‌افزار در شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک برای گیاه زعفران داشت. سپس نرم‌افزار AquaCrop واسنجی‌شده برای بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری در آبیاری زعفران و شوری اولیه خاک بر میزان عملکرد بنه دختری به‌کار گرفته شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی رشد گیاه در شرایط شوری نشان داد در شرایط عدم شوری اولیه در خاک (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، افزایش شوری آب آبیاری از یک دسی‌زیمنس بر متر به چهار دسی‌زیمنس بر متر، سبب ۳/۷ درصد کاهش وزن بنه دختری و در صورت وجود شوری اولیه دو دسی‌زیمنس بر متر در خاک، افزایش شوری آب آبیاری از یک دسی‌زیمنس بر متر به چهار دسی‌زیمنس بر متر، سبب ۲۳ درصد کاهش وزن بنه دختری در انتهای فصل رشد می‌شود. در این پژوهش اثر خاک‌پوش آلی بر عملکرد بنه دختری زعفران در شرایط شوری خاک و آب نیز بررسی شد. جهت بررسی تأثیر استفاده از خاک‌پوش در شرایط شوری آب و خاک، بر عملکرد بنه دختری و بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته، سه سطح خاک‌پوش آلی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از خاک‌پوش آلی با پوشش ۱۰۰ درصد در شرایط شوری اولیه خاک دو دسی‌زیمنس بر متر و شوری آب آبیاری چهار دسی‌زیمنس بر متر، سبب بهبود عملکرد بنه دختری به میزان ۴۶ درصد نسبت به شرایط بدون خاک‌پوش در شرایط شوری ذکر شده است.

**واژه‌های کلیدی:** AquaCrop، زعفران، شوری، خاک‌پوش آلی

**نوع مقاله: پژوهشی**

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: an-ziaei@um.ac.ir

**استناد:** غلامی شرفخانه، مهدی، نقی‌ضیایی، علی، ناقدی‌فر، سید محمدرضا، و اکبری، امیر (۱۴۰۴). بررسی تاثیر شوری خاک و کیفیت آب بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران با استفاده از مدل گیاهی و اندازه‌گیری میدانی. *مدل‌سازی و مدیریت آب‌وخاک*، ۵(۱)، ۳۱۷-۳۳۴.
doi:10.22098/mmws.2023.14109.1390

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵. ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱
*مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۱ ، صفحه ۳۱۷ تا ۳۳۴
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

## ۱-مقدمه

حدود ۷۰ درصد از کل برداشت از منابع آب شیرین، به‌منظور آبیاری در اراضی فاریاب و در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن‌جا که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین در سراسر جهان، بخش کشاورزی بوده است و هم‌چنین، به دنبال رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آب، فعالان این حوزه به‌دنبال یافتن رویکردهای جدید و کارآمد در راستای بهبود مدیریت آب در بخش کشاورزی هستند (Nayebi et al., 2023). شوری آب و خاک و مشکلات مربوط آن از عوامل محدودکننده در بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در چنین مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، استفاده از آب‌های زیرزمینی شور در اراضی فاریاب رایج بوده و کمک شایانی در راستای حفظ منابع آب شیرین خواهد داشت (Minhas et al., 2020). از طرفی، گسترش روش‌های آبیاری با آب شور بدون مدیریت صحیح می‌تواند خطر افت کیفیت خاک و در نتیجه از بین رفتن اراضی کشاورزی را در طولانی مدت به‌دنبال داشته باشد (Jahantigh et al., 2022). ارائه توصیه و دستورالعمل‌هایی در کاربرد آب شور در مزرعه، مستلزم شناخت صحیح از پاسخ زیستی گیاه به سطوح مختلف شوری است. مدل‌سازی گیاهی در تلفیق با اندازه‌گیری‌های میدانی، روشی کارآمد در راستای بهبود بهره‌وری آب در مزرعه و بررسی پاسخ زیستی گیاه به شرایط مختلف مزرعه است (Chen et al., 2020). در میان مدل‌های گیاهی موجود، نرم‌افزار AquaCrop، با داده‌های ورودی کم که به راحتی در مزرعه قابل اندازه‌گیری هستند قادر است فرآیند رشد گیاه را در شرایط مختلف اعم از شرایط شوری و یا کم‌آبیاری شبیه‌سازی کند (Kahkhamoghadam et al., 2023).

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی چندساله و از خانواده زنبقیان است که کلاله آن به‌عنوان گران‌ترین ادویه جهان به حساب می‌آید (Caser et al., 2019). زعفران در مناطق دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود. طول بازه رشد گیاه زعفران، از ابتدای پاییز تا اوایل بهار است و رشد آن در تابستان متوقف می‌شود (Pirasteh Anosheh et al., 2023). از آن‌جا که زعفران در مناطقی با آب و هوای گرم و خشک تولید می‌شود، منبع اصلی آب آبیاری برای این گیاه سفره‌های آب زیرزمینی هستند. به‌دنبال افت کیفیت منابع آب زیرزمینی و افزایش شوری این منابع، بررسی اثر شوری بر عملکرد زعفران در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است (Dastranj and Sepaskhah, 2019).

شوری می‌تواند دلیل مهمی بر کاهش عملکرد گیاه زعفران باشد و بسیاری از مشخصات رشدی گیاه را تحت‌الشعاع خود قرار دهد. هم‌چنین، افزایش شوری آب و خاک می‌تواند محتوای نسبی برگ آب و ذخیره قند در بنه‌های زعفران را تحت تأثیر قرار دهد (Asghari et al., 2019). در این زمینه، Yarami and Sepaskhah (2015) پاسخ گیاه زعفران به آب شور، روش کاشت و کود گاوی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که زعفران گیاهی حساس به شوری است و برای کاهش اثر شوری بر عملکرد زعفران می‌توان از شیوه کاشت شیاری استفاده کرد. در پژوهشی دیگر Yarami and Sepaskhah (2016) اثرات آب شور، روش کاشت و کود گاوی بر کیفیت زعفران را ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج مشخص شد که شوری بالا اثر منفی بر عطر و رنگ گیاه زعفران دارد. در پژوهش دیگری، Dastranj and Sepaskhah (2019) ضمن بررسی واکنش زعفران به رژیم کم‌آبیاری، شوری و آرایش کاشت، نشان دادند عملکرد زعفران حساسیت بیش‌تری نسبت به تنش آبی دارد تا تنش شوری و کاهش عملکردی که با تنش آبی یا شوری حاصل می‌شود در صورت استفاده از آبیاری شیاری قابل جبران است.

هم‌چنین پژوهش‌های متعددی در شبیه‌سازی رشد گیاه زعفران با استفاده از مدل‌های گیاهی صورت گرفته است. برای نمونه، Mirsafi et al. (2016) برای اولین بار نرم‌افزار AquaCrop را برای شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد کلاله در گیاه زعفران مورد ارزیابی قرار دادند. Ebrahimipak et al. (2018) در پژوهشی عملکرد گیاه زعفران را با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop، تحت دو سناریوی استفاده از زئولیت و کم‌آبیاری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که خطای شبیه‌سازی با کم‌آبیاری افزایش یافته اما کاربرد زئولیت سبب کاهش خطای مدل‌سازی گیاهی می‌شود. در مطالعات ذکر شده، تأثیر شوری در دقت شبیه‌سازی رشد گیاه زعفران و نیز پیش‌بینی عملکرد آن تحت آبیاری با سطوح مختلف شوری ارزیابی نشد. در پژوهش دیگری، Sepaskhah et al. (2013) مدلی دینامیکی را برای شبیه‌سازی عملکرد زعفران ارائه نمودند. این مدل قادر است پارامترهایی نظیر عملکرد کلاله، عملکرد بنه دختری و شاخص سطح برگ گیاه را با دقت خوبی شبیه‌سازی کند. مدل دینامیکی ذکرشده توسط Yarami et al. (2016) جهت شبیه‌سازی رشد زعفران تحت

شرایط شوری و اعمال کود حیوانی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل دینامیکی دقت مناسبی در تخمین عملکرد زعفران داشته و می‌تواند برای مدیریت آبیاری با آب شور در مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

پژوهش‌هایی با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه در شرایط استفاده از خاک‌پوش صورت گرفته است. برای نمونه، Shanono et al. (2022) با ارزیابی نرم‌افزار AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد پیاز نشان دادند که نرم‌افزار AquaCrop قادر است با دقت خوبی تحت اعمال خاک‌پوش عملکرد گیاه را در منطقه خشک و نیمه‌خشک شبیه‌سازی کند. علاوه بر این، Malik et al. (2017) نشان دادند که نرم‌افزار AquaCrop واسنجی‌شده برای نیشکر قادر است، زیست‌توده خشک را تحت اعمال خاک‌پوش به خوبی برآورد کند. هرچند تاکنون کاربرد خاک‌پوش در شبیه‌سازی فرایند رشد گیاه زعفران با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop مورد بررسی و ارزیابی قرار نگرفته است. باتوجه به مطالعه انجام‌شده در شبیه‌سازی رشد گیاه زعفران، مدل‌سازی رشد این گیاه تحت سطوح مختلف شوری آب و خاک و نیز سطوح مختلف خاک‌پوش با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop حائز اهمیت است.

این پژوهش با هدف واسنجی نرم‌افزار AquaCrop در شبیه‌سازی تغییرات شوری در ناحیه ریشه گیاه برای زعفران دوساله انجام شد. این مدل قبلا توسط Akbari et al. (2023) برای شبیه‌سازی رطوبت خاک، زیست‌توده و سطح سایه‌انداز برای گیاه زعفران در مزرعه دانشکده کشاورزی با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی واسنجی شده است. در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop تأثیر سطوح مختلف شوری در آبیاری اول، آبیاری دوم، شوری اولیه خاک و تأثیر متقابل آن‌ها بر عملکرد بنه دختری، زیست‌توده و بهره‌وری آب مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر این اثر کاربرد سطوح مختلف خاک‌پوش آلی در بهبود عملکرد بنه دختری در شرایط آبیاری با آب شور با استفاده از AquaCrop بررسی شد.

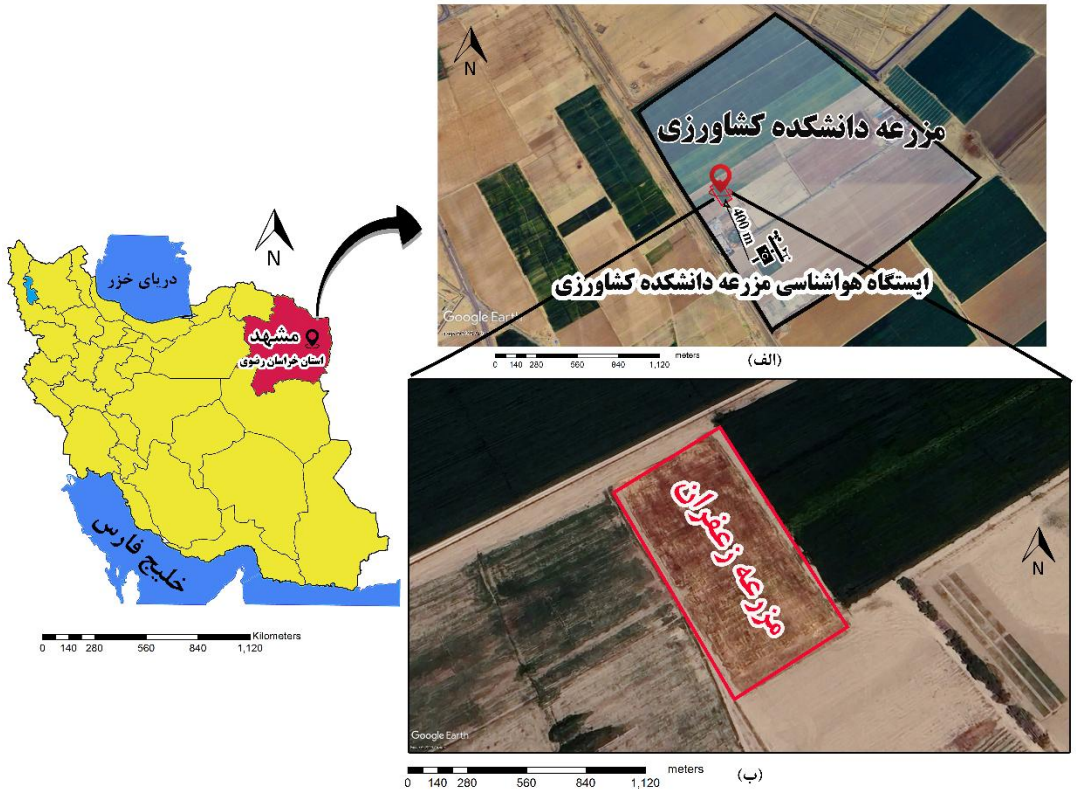
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- محل انجام آزمایش

شهر مشهد در شمال شرقی ایران با ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای مشهد در زمستان سرد و مرطوب اما در تابستان گرم و خشک است. میانگین دمای سالانه در این شهر ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر است (Bagherifam et al., 2022). پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی در فاصله ۱۰ کیلومتری از مشهد قرار دارد و عرض جغرافیایی آن ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی است. شکل ۱موقعیت جغرافیایی مزرعه زعفران را در مزرعه دانشکده کشاورزی نشان می‌دهد.

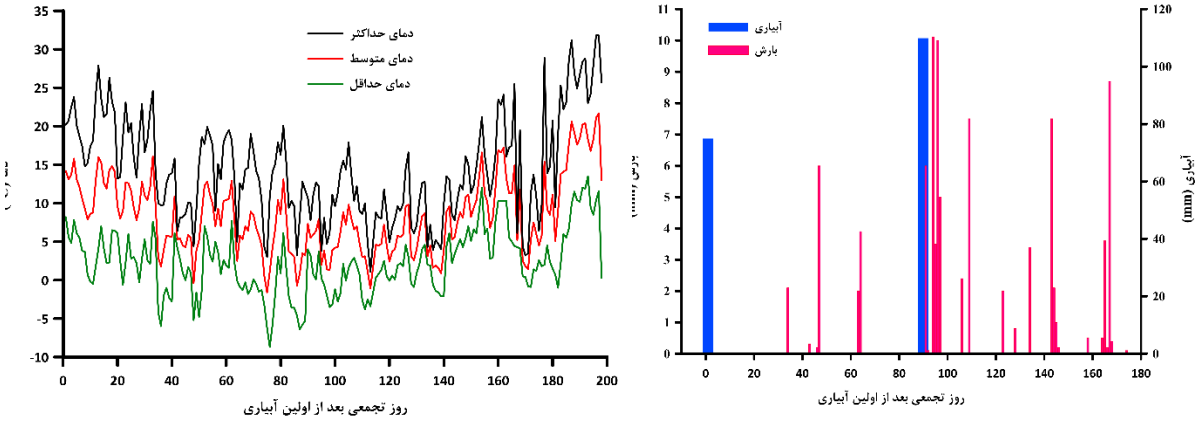
در این مزرعه در سال ۱۳۹۹ گیاه زعفران به‌صورت ردیفی (فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۰۰ بنه در متر مربع) در محدوده‌ای به مساحت ۵۰۰۰ مترمربع کشت شد. داده‌برداری میدانی این پژوهش یکسال بعد از کشت یعنی در مهر ۱۴۰۰ در محدوده ذکرشده انجام شد. در طول فصل رشد که از ۱۰ مهر ۱۴۰۰ تا ۲۸ فروردین ۱۴۰۱ به طول انجامید، دو مرتبه آبیاری برای گیاه زعفران اعمال شد. آبیاری اول در تاریخ ۱۰ مهر و آبیاری دوم در ۹ دی به مزرعه اعمال شد. آبیاری انجام‌شده در مزرعه به روش بارانی و با استفاده از نوار پی‌فلکس[1] صورت گرفت. مقدار آب ورودی به مزرعه با استفاده از کنتور حجمی در هر مرتبه از آبیاری اندازه‌گیری شد. عمق آب آبیاری در هر دو نوبت به همراه مقادیر بارش در طول فصل رشد، میانگین دمای روزانه، دمای بیشینه و دمای کمینه در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

[1] Rain hose sprinkler




**شکل ۱- موقعیت مکانی مزرعه زعفران در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد**

**Figure 1- Location of saffron field in research farm of Ferdowsi University of Mashhad (FUM)**




**(ب)** **(الف)**

**شکل ۲- (الف) رخدادهای آبیاری و بارندگی و (ب) تغییرات دمای حداکثر، دمای متوسط و دمای حداقل در طول فصل رشد**

**Figure 2- (a) Irrigation events and rainfall (b) temperature variations (maximum, average, and minimum) during the growing season**

قبل از شروع داده‌برداری میدانی رطوبت و شوری خاک، دقت دستگاه TDR در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌چنین، مشخصات خاک محدوده مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. به‌منظور ارزیابی کیفیت آب مزرعه، در هر نوبت آبیاری نمونه‌هایی از آب تهیه شد. سپس هدایت الکتریکی آب در آزمایشگاه کیفیت آب گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شد. میانگین هدایت الکتریکی آب در هر دو نوبت آبیاری ۰/۲±۱ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. هم‌چنین، در ابتدای فصل رشد و قبل از شروع آبیاری، نمونه خاک با سه تکرار از قسمت‌های مختلف مزرعه و از عمق ریشه تهیه شد. شوری اولیه خاک ۰/۱±۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد.

رطوبت حجمی خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با دستگاه TDR[1] (FieldScout TDR 350 soil moisture) هر هفت روز اندازه‌گیری شد. در هر مرتبه اندازه‌گیری رطوبت، شوری خاک نیز با استفاده از همین دستگاه، ثبت شد. هم‌چنین، وزن بنه دختری و زیست‌توده گیاه زعفران به‌طور منظم هر دو هفته یک نوبت در طول فصل رشد با استفاده از نمونه‌های تخریبی تهیه‌شده از قسمت‌های مختلف مزرعه به‌دست آمد. سطح سایه‌انداز گیاه نیز در طول فصل رشد هر دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه سطح سایه‌انداز گیاه در طول فصل رشد، سه ایستگاه اندازه‌گیری به ابعاد ۱×۱ متر در قسمت‌های مختلف مزرعه ایجاد شد. در طول فصل رشد به‌طور منظم به‌صورت عمودی با استفاده از دوربین، از ایستگاه‌های عکس‌برداری شد. سپس تصاویر تهیه‌شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ پردازش شده و درصد سطح سایه‌انداز به‌دست آمد.

**جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه زعفران**

**Table 1- Soil characteristics of the saffron field**

| درصد ذرات خاک | | | | | درصد رطوبت حجمی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عمق (سانتی‌متر) | شن | رس | سیلت | بافت | وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | هدایت هیدرولیکی (میلی‌متر بر روز) | نقطه اشباع (درصد) | ظرفیت زراعی (درصد) | نقطه پژمردگی (درصد) |
| 0-10 | 51.64 | 19.44 | 28.92 | Loam | 1.47 | 49.97 | 40 | 36 | 5 |
| 10-20 | 54.36 | 19.44 | 26.2 | Sandy Loam | 1.35 | 56.18 | 40 | 35 | 5 |
| 20-30 | 54 | 20.44 | 25.56 | Sandy Clay Loam | 1.57 | 26.20 | 40 | 25 | 7 |
| 30-40 | 58 | 15.44 | 26.56 | Sandy Loam | 1.55 | 94.10 | 45 | 36 | 9 |

زراعی (FC) و حد پژمردگی دائم (PWP)، به‌عنوان مقدار آب در دسترس گیاه در این نرم‌افزار در نظر گرفته شده است. در نرم‌افزار AquaCrop، رشد گیاه با توجه به مقدار توسعه سطح سایه‌انداز[2] (CC) که خود تابعی از تعرق گیاه است، تعریف می‌شود. هم‌چنین، در این نرم‌افزار، ضرایب مربوط به تنش آبی، تنش دمایی، شوری آب و وجود علف‌های هرز، با استفاده از حدود آستانه‌ای توصیف می‌شوند. حدود آستانه‌ای تعریف‌شده شامل حد توسعه سطح سایه‌انداز (مقدار آستانه‌ای که در رطوبت‌های کم‌تر از آن رشد سطح سایه‌انداز گیاه از حالت پتانسیل خارج می‌شود)، حد بسته شدن روزنه‌ها (رطوبت آستانه‌ای که در رطوبت‌های کم‌تر از آن توسعه سطح سایه‌انداز متوقف شده و تعرق از حالت پتانسیل خارج می‌شود) و پیری زودرس (رطوبت آستانه‌ای که در رطوبت‌های کم‌تر از آن سطح تاج پوشش گیاه شروع به زوال زودتر از موعد می‌نماید) است (Hsiao et al., 2009). نرم‌افزار AquaCrop، با در نظر گرفتن

### ۲-۲- نرم‌افزار AquaCrop

روابط پیچیده میان اجزاء آب، خاک و گیاه سبب شده که استفاده از مدل‌های گیاهی به‌عنوان اصلی‌ترین جایگزین در مطالعات گیاهی و پیش‌بینی عملکرد گیاه شناخته شود (Steduto et al., 2009). نرم‌افزار AquaCrop، فرآیند رشد گیاه را بر مبنای میزان موجودی آب ناحیه ریشه شبیه‌سازی می‌کند به‌طوری‌که ابتدا با استفاده از معادلات حاکم، تعرق گیاه محاسبه شده و سپس با توجه به کارایی مصرف آب، عملکرد گیاه در انتهای فصل به‌دست می‌آید (Andarzian et al., 2011). به‌طور دقیق‌تر، این نرم‌افزار با توجه به بیلان آب ناحیه ریشه که از اختلاف مقادیر آب ورودی (شامل بارش، آبیاری و صعود مویینه) و مقدار آب خروجی (شامل نفوذ عمقی، رواناب و تبخیر–تعرق) به‌دست می‌آید و مؤید مقدار آب ذخیره‌شده در ناحیه ریشه گیاه است، فرآیند رشد گیاه را شبیه‌سازی می‌کند (Raes et al., 2009). رطوبت موجود بین حد ظرفیت

[1] Time Domain Reflectometry

[2] Canopy Cover

کشت، بهره‌وری آب نرمال‌شده، تنش‌های آبی، شوری و کودی (در صورت وجود)، زمان جوانه‌زنی گیاه، زمان گل‌دهی و نیز زمان رسیدن به بلوغ و پیری گیاه است. هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت در حدود ظرفیت اشباع، ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم برای لایه‌های مختلف مورد نیاز است. وارد کردن اطلاعات مربوط به زمان‌بندی آبیاری، هدایت الکتریکی و نحوه مدیریت مزرعه نیز برای شبیه‌سازی فرآیند رشد مورد نیاز است (Raes et al., 2009).

مطابق پژوهش Mosafery Zyaaldiny et al. (2020) مقدار محصول[3] شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار، معادل وزن بنه دختری در نظر گرفته شد. علاوه بر این، مقدار زیست‌توده خشک شبیه‌سازی‌شده با استفاده از نرم‌افزار، معادل مجموع وزن خشک اندام هوایی و بنه دختری در نظر گرفته شد (Akbari et al., 2023). به‌منظور ارزیابی عملکرد نرم‌افزار AquaCrop در شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک در گیاه زعفران، مقادیر شوری آب که در مزرعه اندازه‌گیری شد در نرم‌افزار قرار گرفت. سپس نرم‌افزار با استفاده از سایر پارامترهای ورودی اجرا شد. از قسمت فایل‌های خروجی نرم‌افزار، مقادیر شوری شبیه‌سازی‌شده استخراج و با مقادیر شوری خاک گزارش‌شده توسط سنسور TDR مقایسه شد. شاخص‌های آماری برای تایید دقت شبیه‌سازی نرم‌افزار میان مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده محاسبه شد.

## ٤-۲- بررسی سطوح مختلف شوری آب و خاک در عملکرد بنهٔ دختری زعفران

به‌منظور ارزیابی عملکرد بنه دختری زعفران در سطوح مختلف شوری آب، نرم‌افزار AquaCrop واسنجی شده با مقادیر شوری اندازه‌گیری‌شده در مزرعه، برای مقادیر مختلف شوری آب و خاک اجرا شد. در شرایط فعلی، شوری آب و خاک معادل یک دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد که با توجه به نمونه‌هایی که در طول فصل رشد از آب و خاک مزرعه تهیه شد، به‌دست آمد. سپس شرایط آب آبیاری با کیفیت (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، شوری آب دو دسی‌زیمنس بر متر و چهار دسی‌زیمنس بر متر برای هر رخداد آبیاری در نظر گرفته شد. مقادیر شوری ذکرشده (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، دو دسی‌زیمنس بر متر و چهار دسی‌زیمنس بر متر)، برای شرایط اولیه

[3] Dry yield

تعرق پتانسیل و تبخیر پتانسیل به‌عنوان دو جزء مجزا، فرایند رشد گیاه را شبیه‌سازی می‌کند. با توجه به ضریب گیاهی پایه ($Kc_{tr}$) و تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($ET_0$)، تعرق پتانسیل گیاه ($Tr_x$) با توجه به رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$Tr_x = Kc_{tr} \times ET_0 \quad (۱)$$

همان‌طورکه گفته شد، عوامل تنش‌زا با توجه به حدود آستانه تعریف شده، در الگوریتم محاسباتی نرم‌افزار وارد می‌شوند. با در نظر گرفتن تنش خشکی به‌عنوان تنها تنش موجود در ناحیه ریشه گیاه، با استفاده از تابع تنش آستانه‌ای ($K_s$)، تعرق واقعی گیاه با توجه به رابطهٔ (۲)، به‌دست می‌آید.

$$Tr = K_s \times Tr_x \quad (۲)$$

با توجه به بهره‌وری آب نرمال‌شده[1] ($WP^*$)، زیست‌توده نهایی ($B$) با استفاده از نسبت تعرق واقعی گیاه و مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$B = WP^* \times \sum\left(\frac{T_r}{ET_0}\right) \quad (۳)$$

از حاصل‌ضرب زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده در انتهای فصل ($B$) و شاخص برداشت[2] ($HI$)، مطابق رابطه (۴)، مقدار محصول ($Y$) به‌دست می‌آید (Raes et al., 2009).

$$Y = HI \times B \quad (۴)$$

## ۳-۲- داده‌های ورودی به نرم‌افزار

اطلاعات ورودی مورد نیاز برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار AquaCrop، شامل اطلاعات آب و هوایی، پارامترهای گیاهی، مشخصات خاک و اطلاعات مربوط به نحوه مدیریت مزرعه است. این نرم‌افزار برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، از روش فائو-پنمن-مونتیث استفاده می‌کند (Allen, 1998; Abedinpour et al., 2012). سایر داده‌های ورودی شامل دمای حداقل و حداکثر روزانه، سرعت باد، مقدار بارش، غلظت دی‌اکسید کربن موجود در جو، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی است که از ایستگاه هواشناسی مزرعه دانشکده که در فاصله ۴۰۰ متری از محدوده مطالعاتی قرار داشت، دریافت شد. پارامترهای گیاهی مورد نیاز در این نرم‌افزار شامل عمق ریشه، شاخص برداشت، تاریخ

[1] Normalized Water Productivity
[2] Harvest Index

پیرسون[1] (r)، میانگین ریشه مربعات خطا[2] (RMSE)، ضریب کارایی نش-ساتکلیف[3] (EF) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده[4] (NRMSE) استفاده شد.

که در این معادلات، $P_i$ مقادیر پیش‌بینی‌شده، $\bar{P}_i$ میانگین مقادیر پیش‌بینی‌شده، $O_i$ مقادیر مشاهده‌شده، $\bar{O}_i$ میانگین مقادیر مشاهده‌شده $\sigma_{Obs}$، انحراف معیار مقادیر مشاهده‌شده و n تعداد داده‌های مورد مطالعه هستند. ضریب همبستگی پیرسون بین یک و منفی یک قرار می‌گیرد و نشان‌دهنده همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده است. یک به معنای همبستگی مثبت کامل، منفی یک به معنای همبستگی منفی کامل و صفر به معنای عدم وجود همبستگی است. هم‌چنین، هرچقدر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده به صفر نزدیک‌تر باشند، مدل دقت بیش‌تری خواهد داشت و هرچه مقدار آن دورتر از صفر باشد، شبیه‌سازی با خطای بیش‌تری انجام شده است. مقدار ضریب کارایی نش-ساتکلیف نیز از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر بوده و هرچه مقادیر به نزدیک‌تر شود، شبیه‌سازی دقیق‌تر صورت گرفته است.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- صحت‌سنجی دستگاه TDR 350 در اندازه‌گیری شوری

شکل ۳، همبستگی میان مقادیر شوری اندازه‌گیری‌شده با استفاده از دستگاه TDR 350 و مقادیر شوری اندازه‌گیری‌شده با استفاده از EC متر را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون محاسبه‌شده میان مقادیر شوری اندازه‌گیری‌شده با دستگاه TDR 350 و EC متر، نشان از دقت مناسب این دستگاه در اندازه‌گیری شوری است.

### ۳-۲- پارامترهای گیاهی مورد استفاده در نرم‌افزار AquaCrop

پارامترهای گیاهی زعفران مطابق جدول ۲، در نظر گرفته شد. این پارامترها با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده رطوبت ناحیه ریشه، زیست‌توده و سطح سایه‌انداز در طول فصل رشد، واسنجی شدند. زمان ظاهر شدن سبزینگی، زمان رسیدن به حداکثر سطح سایه‌انداز، زمان پیری و زمان رسیدن به بلوغ با توجه به

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O}_i)(P_i-\bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P}_i)^2}} \quad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}} \quad (۶)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۷)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\sigma_{Obs}} \quad (۸)$$

شوری خاک نیز در نظر گرفته شد. تأثیر متقابل سطوح مختلف شوری در شرایط اولیه خاک، آبیاری اول و آبیاری دوم بر مقدار زیست‌توده شبیه‌سازی‌شده در انتهای فصل، مقدار محصول و کارایی مصرف آب با استفاده از نرم‌افزار، شبیه‌سازی و سپس مقدار افت محصول نسبت به عملکرد فعلی مزرعه، مقایسه شد.

### ۳-۵- بررسی تأثیر خاک‌پوش آلی در شرایط آبیاری با آب شور

استفاده از خاک‌پوش علاوه بر افزایش مواد مغذی موجود در خاک، سبب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Mzabri et al., 2021). علاوه بر آن، خاک‌پوش آلی می‌تواند از تبخیر آب از سطح خاک جلوگیری کرده و مانع از تجمع نمک در لایه‌های سطحی خاک شود (Zhao et al., 2014). به‌منظور ارزیابی تأثیر متقابل استفاده از خاک‌پوش آلی در مزرعه، استفاده از آب شور و شوری اولیه خاک، نرم‌افزار AquaCrop واسنجی‌شده جهت شبیه‌سازی شوری خاک در طول فصل رشد مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور نرم‌افزار AquaCrop برای شرایط آبیاری با آب باکیفیت (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، شوری دو دسی‌زیمنس بر متر و چهار دسی‌زیمنس بر متر و شوری اولیه خاک در شرایط بدون شوری (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، دو دسی‌زیمنس بر متر و چهار دسی‌زیمنس بر متر در ترکیب با اعمال سه سطح ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد خاک‌پوش آلی اجرا و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

### ۳-۶- ارزیابی مدل

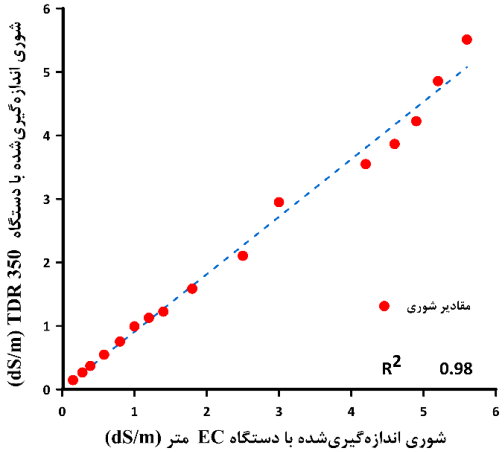
برای مقایسه نتایج مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل AquaCrop با مقادیر اندازه‌گیری‌شده از چهار شاخص آماری ضریب همبستگی

[1] Pearson correlation coefficient
[2] Root-Mean-Square Error (RMSE)
[3] Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE)
[4] Normalized root mean square error

ضریب همبستگی پیرسون میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده سطح سایه اندازه، ۰/۹۹ به‌دست آمد. میانگین ریشه مربعات خطا ۳/۴ درصد محاسبه شد که نشان‌دهنده دقت بالای نرم‌افزار واسنجی‌شده در شبیه‌سازی فرآیند رشد زعفران است. تغییرات مقادیر زیست‌توده اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده نیز به همراه شاخص‌های آماری محاسبه‌شده در شکل ۵ نشان داده شده است.

مشاهدات و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در نرم‌افزار وارد شد (Akbari et al., 2023).

همان‌طورکه بیان شد نرم‌افزار AquaCrop در پژوهش Akbari et al. (2023) برای مزرعه ذکرشده واسنجی شد. شکل ۴، مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده رطوبت پس از واسنجی را در طول فصل رشد نشان می‌دهد. شاخص‌های آماری محاسبه‌شده بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده نشان از دقت بالای نرم‌افزار در شبیه‌سازی تغییرات رطوبت ناحیه ریشه دارد.



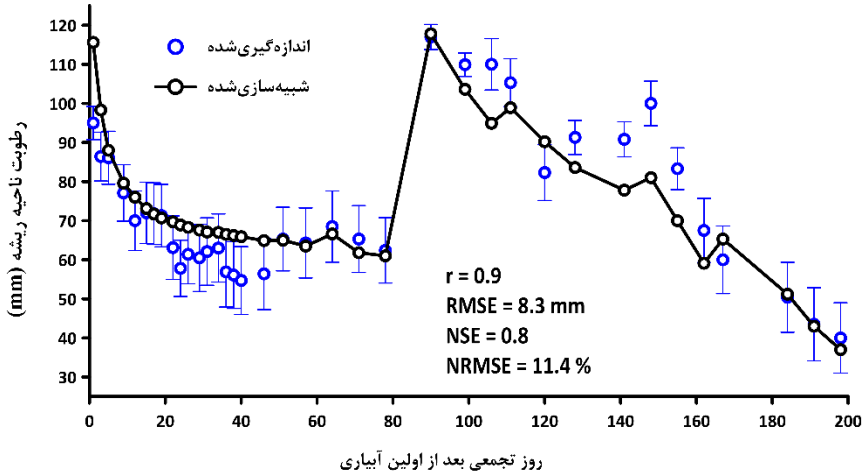

**شکل ۳- مقایسه مقادیر شوری اندازه‌گیری‌شده با استفاده از دستگاه TDR 350 و EC متر**

**Figure 3- Comparison of salinity measured using TDR 350 and EC meter**

**جدول ۲- پارامترهای گیاهی ورودی به نرم‌افزار**

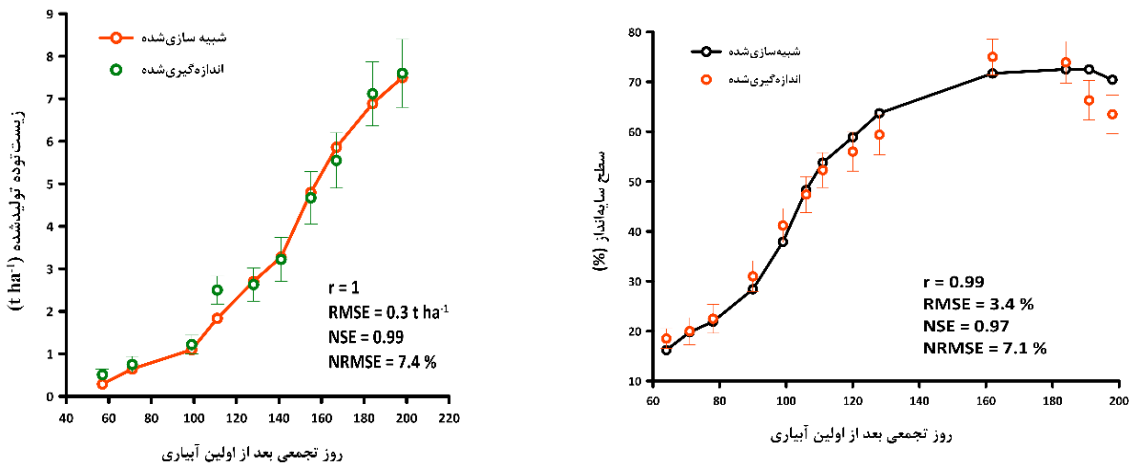
**Table 2- Crop parameters input into the software**

| پارامتر | مقدار | توضیحات |
|---|---|---|
| **تراکم کاشت** | 153 بنه در مترمربع | اندازه‌گیری |
| **پوشش تاج اولیه** | 7.66 درصد | اندازه‌گیری |
| **مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی** | 36 روز | اندازه‌گیری |
| **مدت زمان کاشت تا رسیدن به رشد بیشینه سطح سایه‌انداز** | 133 روز | اندازه‌گیری |
| **مدت زمان کاشت تا رسیدن به پیری** | 193 روز | اندازه‌گیری |
| **مدت زمان کاشت تا بلوغ گیاه** | 198 روز | اندازه‌گیری |
| **بیشینه رشد سطح سایه‌انداز** | 0.75 | اندازه‌گیری |
| **جز تعرق از ضریب گیاهی** | 0.65 | اندازه‌گیری |
| **بهره‌وری آب نرمال شده** | 20 گرم بر مترمکعب | واسنجی |
| **شاخص برداشت مرجع** | 80 | اندازه‌گیری |
| **عمق موثر ریشه** | 0.3 متر | اندازه‌گیری |
| **ضریب توسعه سطح سایه‌انداز** | 5 | واسنجی |
| **ضریب کاهش سطح سایه‌انداز** | 8 | واسنجی |
| **حد بالای شوری قابل تحمل** | 6 دسی‌زیمنس بر متر | پیش‌فرض نرم‌افزار |
| **حد پایین شوری قابل تحمل** | 0 دسی‌زیمنس بر متر | پیش‌فرض نرم‌افزار |
| **پارامتر تأثیر شوری بر حد بسته شدن روزنه ($EC_e$)** | 1.5 دسی‌زیمنس بر متر | پیش‌فرض نرم‌افزار |
| **پارامتر تأثیر شوری بر توقف سطح سایه‌انداز ($EC_e$)** | 1.5 دسی‌زیمنس بر متر | پیش‌فرض نرم‌افزار |




**شکل ٤- مقادیر رطوبت اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در طول فصل رشد زعفران**

**Figure 4- Measured and simulated moisture values during the saffron growing season**



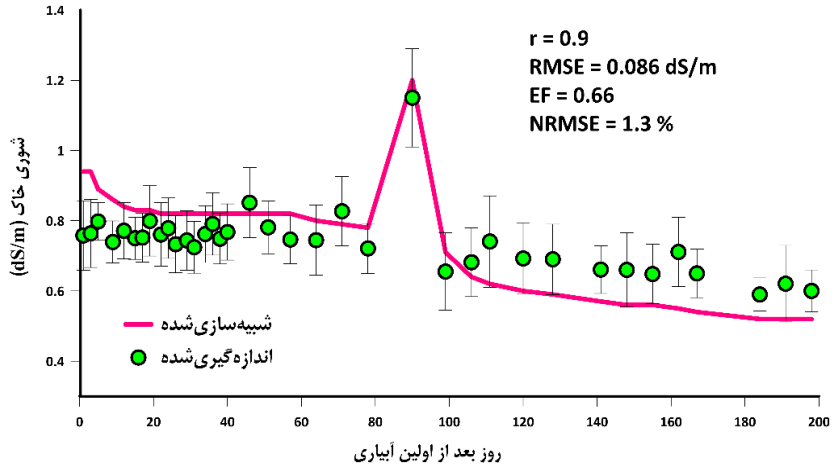

**شکل ۵- تغییرات مقادیر سطح سایه‌انداز (الف) و زیست‌توده (ب) اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در طول فصل رشد زعفران**

**Figure 5- Measured and simulated biomass and canopy cover changes during the saffron growing season**

دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. ضریب کارایی مدل نش–ساتکلیف محاسبه‌شده میان مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده برابر با ۰/۶۶ است که نشان‌دهنده دقت مناسب نرم‌افزار در شبیه‌سازی تغییرات شوری ناحیه ریشه است. در روز ۹۰ پس از کشت، آبیاری سبب افزایش شوری ناحیه ریشه شده که پس از آن شوری ایجاد شده توسط گیاه جذب و شوری کاهش یافته است.

### ۳-۳- واسنجی شبیه‌سازی تغییرات شوری در طول فصل رشد

شکل ۶، مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد. سنسور رطوبت‌سنجی TDR، مقدار متوسط شوری آب خاک را تا عمق ۲۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی پیرسون میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده شوری عصاره اشباع خاک، ۰/۹۰ است. ریشه مربعات خطا نیز برابر با ۰/۰۸۶




**شکل ٦- تغییرات مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در طول فصل رشد زعفران**

**Figure 6- Measured and simulated soil salinity changes during the saffron growing season**

فعلی مزرعه در تولید زیست‌توده، بنه دختری زعفران و نیز بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۳، مقادیر شبیه‌سازی‌شده بنه دختری زعفران دو ساله در سطوح مختلف شوری در آبیاری اول، آبیاری دوم و شوری اولیه خاک را نشان می‌دهد.

### ٤-۳- بررسی سطوح مختلف شوری آب و خاک در عملکرد بنه دختری زعفران

تأثیر آبیاری با آب شور در سطوح ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، دو دسی‌زیمنس بر متر و چهار دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شرایط

**جدول ۳- تغییرات مقادیر وزن بنه دختری (تن در هکتار) در سطوح مختلف شوری آب و خاک**

**Table 3- Changes in daughter corm weight (ton/ha) at different levels of water and soil salinity**

| شوری اولیه خاک (دسی‌زیمنس بر متر) | شوری آبیاری اول (دسی‌زیمنس بر متر) | شوری آبیاری دوم (دسی‌زیمنس بر متر) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 4.00 |
| 0.50 | 0.50 | 5.98 | 5.80 | 5.73 | 5.58 |
| | 1.00 | 5.98 | 5.80 | 5.73 | 5.58 |
| | 2.00 | 5.98 | 5.80 | 5.73 | 5.58 |
| | 4.00 | 5.98 | 5.80 | 5.73 | 5.58 |
| 2.00 | 0.50 | 5.31 | 5.13 | 4.55 | 3.94 |
| | 1.00 | 5.31 | 5.13 | 4.55 | 3.94 |
| | 2.00 | 5.31 | 5.13 | 4.55 | 3.94 |
| | 4.00 | 5.31 | 5.13 | 4.55 | 3.94 |
| 4.00 | 0.50 | 3.72 | 3.58 | 3.46 | 3.19 |
| | 1.00 | 3.72 | 3.58 | 3.46 | 3.19 |
| | 2.00 | 3.72 | 3.58 | 3.46 | 3.19 |
| | 4.00 | 3.72 | 3.58 | 3.46 | 3.19 |

مختلف شوری و کم‌آبیاری را در عملکرد بنه و گلدهی زعفران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به چهار دسی‌زیمنس بر متر، سبب کاهش عملکرد بنه دختری در گیاه زعفران می‌شود.

در صورتی‌که شوری اولیه خاک از ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به چهار دسی‌زیمنس بر متر برسد، عملکرد بنه دختری از ۵/۸ تن در هکتار به ۳/۵۸ تن در هکتار کاهش می‌یابد که معادل ۳۸ درصد کاهش در وزن بنه دختری است. شوری اولیه خاک تأثیر بسزایی در افت عملکرد بنه دختری دارد. در میان مقادیر مختلف شوری اولیه خاک، بیش‌ترین افت عملکرد بنه دختری زعفران در صورت آبیاری با آب شور، مربوط به حالتی است که شوری اولیه خاک دو دسی‌زیمنس بر متر باشد. جدول ۴، تغییرات مقادیر زیست‌توده تولیدی زعفران را در سطوح مختلف شوری اولیه خاک و آبیاری نشان می‌دهد. تغییرات مقادیر بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته زعفران در سطوح مختلف شوری اولیه خاک و آبیاری نیز در جدول ۵ قابل مشاهده است.

همان‌طورکه در جدول ۳ نشان داده شده است، نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از آن است که شوری آبیاری اول تأثیر چندانی بر میزان افت عملکرد بنه دختری زعفران ندارد. در صورتی‌که شوری اولیه خاک ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر باشد، اگر شوری آب آبیاری دوم در مقایسه با شوری فعلی آب (یک دسی‌زیمنس بر متر)، چهار برابر شود، عملکرد بنه دختری از ۵/۸ تن در هکتار به ۵/۵۸ تن در هکتار کاهش می‌یابد که معادل ۳/۷ درصد کاهش است. در صورتی‌که شوری اولیه خاک دو دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شود و شوری آب آبیاری اول و دوم از مقدار شوری فعلی (یک دسی‌زیمنس بر متر) به چهار دسی‌زیمنس بر متر برسد، مقدار وزن خشک بنه دختری به میزان ۲۳ درصد کاهش می‌یابد. Asghari et al. (2019) پژوهشی را با هدف ارزیابی عملکرد زعفران را تحت تنش شوری انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد در خاک با شوری دو دسی‌زیمنس بر متر با افزایش شوری آب آبیاری از ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به چهار دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد بنه دختری کاهش پیدا کرد (۱۲ درصد). هم‌چنین، در پژوهش دیگری Sepaskhah and Yarami (2009) تأثیر متقابل سطوح

**جدول ٤- تغییرات مقادیر زیست‌توده خشک (تن در هکتار) در سطوح مختلف شوری آب و خاک**

**Table 4- Changes in biomass (ton ha$^{-1}$) at different levels of water and soil salinity**

| شوری اولیه خاک (دسی‌زیمنس بر متر) | شوری آبیاری اول (دسی‌زیمنس بر متر) | شوری آبیاری دوم (دسی‌زیمنس بر متر) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 4.00 |
| 0.50 | 0.50 | 7.74 | 7.50 | 7.40 | 7.21 |
| | 1.00 | 7.74 | 7.50 | 7.40 | 7.21 |
| | 2.00 | 7.74 | 7.50 | 7.40 | 7.21 |
| | 4.00 | 7.74 | 7.50 | 7.40 | 7.21 |
| 2.00 | 0.50 | 6.85 | 6.61 | 5.88 | 5.10 |
| | 1.00 | 6.85 | 6.60 | 5.88 | 5.10 |
| | 2.00 | 6.85 | 6.60 | 5.88 | 5.10 |
| | 4.00 | 6.85 | 6.60 | 5.88 | 5.10 |
| 4.00 | 0.50 | 4.81 | 4.62 | 4.47 | 4.12 |
| | 1.00 | 4.81 | 4.62 | 4.47 | 4.12 |
| | 2.00 | 4.81 | 4.62 | 4.47 | 4.12 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4.00 | 4.81 | 4.62 | 4.47 | 4.12 |

**جدول ۵- تغییرات مقادیر بهره‌وری آب تبخیر تعرق یافته (تن در هکتار) در سطوح مختلف شوری آب و خاک**

**Table 5- Changes in $ET_{WP}$ (ton $ha^{-1}$) at different levels of water and soil salinity**

| شوری اولیه خاک (دسی‌زیمنس بر متر) | شوری آبیاری اول (دسی‌زیمنس بر متر) | شوری آبیاری دوم (دسی‌زیمنس بر متر) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 4.00 |
| 0.50 | 0.50 | 3.75 | 3.65 | 3.61 | 3.54 |
| | 1.00 | 3.75 | 3.65 | 3.61 | 3.54 |
| | 2.00 | 3.75 | 3.65 | 3.61 | 3.54 |
| | 4.00 | 3.75 | 3.65 | 3.61 | 3.54 |
| 2.00 | 0.50 | 3.38 | 3.29 | 3.00 | 2.68 |
| | 1.00 | 3.38 | 3.29 | 3.00 | 2.68 |
| | 2.00 | 3.38 | 3.29 | 3.00 | 2.68 |
| | 4.00 | 3.38 | 3.29 | 3.00 | 2.68 |
| 4.00 | 0.50 | 2.54 | 2.46 | 2.39 | 2.22 |
| | 1.00 | 2.54 | 2.46 | 2.39 | 2.22 |
| | 2.00 | 2.54 | 2.46 | 2.39 | 2.22 |
| | 4.00 | 2.54 | 2.46 | 2.39 | 2.22 |

فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند. به‌منظور ارزیابی تأثیر خاک‌پوش آلی در شرایط آبیاری با آب شور، سطوح مختلف خاک‌پوش با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop برای سطوح شوری آب و خاک مشابه شرایط قبل اعمال شد. همانطور که در جدول ۶ ارائه شده است، خاک‌پوش آلی سبب بهبود عملکرد بنه دختری زعفران در شرایط شوری آب و خاک شده است. در شرایط فعلی مزرعه با استفاده از خاک‌پوش آلی، عملکرد بنه دختری با اعمال سطوح ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد خاک‌پوش به‌ترتیب هشت درصد، ۱۲ درصد و ۱۸ درصد افزایش یافت. در صورت عدم شوری اولیه در خاک (۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، در حالتی که شوری آب آبیاری چهار دسی‌زیمنس بر متر باشد، با اعمال ۱۰۰ درصد خاک‌پوش آلی، عملکرد بنه دختری ۱۹ درصد بهبود می‌یابد. هم‌چنین، در صورت وجود شوری اولیه دو دسی‌زیمنس بر متر در خاک مزرعه و نیز شوری آب چهار دسی‌زیمنس بر متر، بیش‌ترین افزایش عملکرد بنه دختری با اعمال ۱۰۰ درصد درصد خاک‌پوش حاصل می‌شود که معادل ۴۶ درصد نسبت به حالت بدون خاک‌پوش خواهد بود. در صورت وجود شوری شدید در آب آبیاری و خاک مزرعه معادل چهار دسی‌زیمنس بر متر، اعمال خاک‌پوش آلی سبب بهبود قابل توجهی در عملکرد بنه دختری زعفران می‌شود به نحوی که عملکرد از ۳/۲ تن در هکتار به ۴/۹ تن در هکتار افزایش می‌یابد که معادل ۵۱ درصد است. در این زمینه، Al-Dhuhli et al. (2010) در پژوهشی بر گیاه سورگوم نشان دادند که خاک‌پوش آلی با جلوگیری از تبخیر آب از سطح خاک و جلوگیری از تجمع نمک، سبب بهبود عملکرد در انتهای فصل می‌شود.

همان‌طورکه در جدول ۵ نشان داده شده است، در حالتی‌که شوری اولیه خاک ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شود، شوری آب در هر دو نوبت آبیاری تأثیر چندانی بر کاهش مقدار بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته ندارد. در حالی‌که در شرایط شوری خاک دو دسی‌زیمنس بر متر و چهار دسی‌زیمنس بر متر شوری آب آبیاری در کاهش بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته تأثیرگذار است. به‌نحوی که شرایط خاک با شوری اولیه چهار دسی‌زیمنس بر متر، افزایش شوری آب آبیاری از شرایط فعلی (یک دسی‌زیمنس بر متر) به چهار دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته از ۳/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب به ۲/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب شده که معادل ۱۸/۵ درصد کاهش است. از طرفی در شرایط شوری اولیه خاک چهار دسی‌زیمنس بر متر، افزایش چهار برابری شوری آب نسبت به شرایط فعلی، باعث کاهش بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته به میزان ۱۰ درصد می‌شود.

### ۵-۳- بررسی تأثیر خاک‌پوش آلی در شرایط آبیاری با آب شور

بررسی اثر خاک‌پوش آلی در سطوح مختلف شوری اولیه خاک و شوری آب آبیاری، نشان داد سطوح مختلف خاک‌پوش سبب بهبود عملکرد بنه دختری زعفران می‌شود. خاک‌پوش با جلوگیری از تبخیر آب و حفظ موجودی رطوبت، مانع از شوری خاک مزرعه می‌شود که در نهایت، عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Zhao et al., 2016). در پژوهشی Natavan et al. (2023) نشان دادند که استفاده از خاک‌پوش سبب افزایش عملکرد کلاله زعفران می‌شود. نتایج آن‌ها نشان داد خاک‌پوش‌های آلی سبب بهبود خصوصیات

**جدول ٦- تغییرات مقادیر وزن بنه دختری (تن در هکتار) در سطوح مختلف شوری آب و خاک در شرایط استفاده از خاک‌پوش**
**Table 6- Changes in daughter corm weight (ton/ha) at different levels of water and soil salinity using organic mulch**

| شوری اولیه خاک (دسی‌زیمنس بر متر) | درصد خاک‌پوش | شوری آبیاری اول و دوم (دسی‌زیمنس بر متر) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0/5 | 1 | 2 | 4 |
| 0.5 | 50 | 6.459 | 6.265 | 6.203 | 6.043 |
| | 75 | 6.709 | 6.499 | 6.437 | 6.317 |
| | 100 | 7.039 | 6.839 | 6.792 | 6.625 |
| 2 | 50 | 5.75 | 5.594 | 5.473 | 5.222 |
| | 75 | 6.008 | 5.856 | 5.749 | 5.485 |
| | 100 | 6.285 | 6.133 | 6.031 | 5.767 |
| 4 | 50 | 4.166 | 3.882 | 3.737 | 3.478 |
| | 75 | 5.125 | 4.913 | 4.466 | 3.673 |
| | 100 | 5.464 | 5.331 | 5.191 | 4.846 |

دسی‌زیمنس بر متر بود که مقدار آن برابر با ۱۸/۵ درصد شد. هم‌چنین، برای ارزیابی اثر خاک‌پوش آلی بر عملکرد بنه دختری در شرایط شوری، نرم‌افزار AquaCrop برای حالت‌های قبل در سه سطح خاک‌پوش ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد اجرا شد که نشان داد خاک‌پوش آلی اثر چشم‌گیری بر افزایش عملکرد بنه دختری زعفران در شرایط شوری دارد و می‌تواند تا ۵۱ درصد عملکرد را افزایش دهد.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه فردوسی مشهد در طول پژوهش قدردانی می‌شود.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار نتایج پژوهش وجود ندارد.

## دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسندهٔ مسئول در اختیارقرار خواهد گرفت.

## مشارکت نویسندگان

**مهدی غلامی شرفخانه:** تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله، روش‌شناسی؛ **علی نقی ضیایی:** نظارت، مفهوم‌سازی، ویرایش متن مقاله؛ **سیدمحمدرضا ناقدی‌فر:** ویرایش متن مقاله، روش‌شناسی، تحیل نرم‌افزاری؛ **امیر اکبری:** کنترل نتایج، انجام آزمایشات.

## ٤- نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌های گیاهی یکی از مؤثرترین و در عین حال ارزان‌ترین روش‌های موجود برای مدیریت آب در بخش کشاورزی است. یکی از این مدل‌های گیاهی که نسبت به بقیه مدل‌ها نیاز به داده کم‌تری برای واسنجی دارد و استفاده از آن برای کارشناسان حوزه علوم آب آسان‌تر است، مدل AquaCrop است. این پژوهش با هدف واسنجی مدل AquaCrop جهت شبیه‌سازی شوری خاک در مزرعه زعفران دوساله صورت گرفت. بنابراین مقادیر شوری خاک در طول فصل رشد گیاه زعفران اندازه‌گیری شد. نتایج مقایسه مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده شوری خاک حاکی از آن بود که مدل می‌تواند شوری خاک در طول فصل رشد را برای زعفران دو ساله پیش‌بینی کند.

پس از واسنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی شوری خاک، مدل AquaCrop برای مقادیر مختلف شوری آب و خاک به همراه شرایط فعلی مزرعه اجرا شد و اثر شوری خاک و آبیاری بر عملکرد بنه دختری، زیست‌توده و مقدار بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته بررسی شد. نتایج نشان داد شوری اولیه خاک تأثیر به‌سزایی در افت عملکرد بنه دختری دارد و با افزایش شوری اولیه خاک از ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر به چهار دسی‌زیمنس بر متر ، عملکرد بنه دختری ۳۸ درصد کاهش یافت. بیش‌ترین افت عملکرد بنه دختری نیز در زمانی که شوری خاک اولیه دو دسی‌زیمنس بر متر بود، حاصل شد. بیش‌ترین افت در مقدار بهره‌وری آب تبخیر تعرق‌یافته نسبت به شرایط فعلی مزرعه نیز در شوری خاک دو دسی‌زیمنس بر متر و شوری آبیاری چهار

## منابع

کهخامقدم، پریسا، ضیایی، علی نقی، داوری، کامران، کانونی، امین و صادقی، صدیقه (۱۴۰۳). برنامه‌ریزی و تحویل بهینهٔ آب در شبکه‌های آبیاری با ترکیب مدل AquaCrop و الگوریتم ژنتیک. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۴)، ۲۵۵–۲۶۸. doi: 10.22098/mmws.2023.14039.1382

مسافری ضیاالدینی، حسن، علیزاده، امین و رضوانی مقدم، پرویز (۱۳۹۹). اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب زعفران در خراسان رضوی (منطقهٔ باخرز). *زراعت و فناوری زعفران*، ۸(۴)، ۴۹۷–۵۱۰. doi: 10.22048/jsat.2020.225629.1389

ناتوان، زهره، مرادی، روح الله، نقی زاده، مهدی و پورقاسمیان، نسیبه (۱۴۰۱). اثر انواع مالچ شیمیایی و آلی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملکرد کمی و کیفی کلاله زعفران در منطقه قائنات. *زراعت و فناوری زعفران*، ۱۰(۴)، ۳۲۵–۳۴۱. doi: 10.22048/jsat.2022.368175.1473

نایبی، جاوید، حاجی‌راد، ایمان، پورغلام آمیجی، مسعود، آذری، اردوان و پناهزاده، سیامک (۱۴۰۳). ارزیابی وضعیت انواع روش‌های آبیاری در اراضی حکم‌آباد شهر تبریز با روش چارلز برت. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۲۵۳–۲۶۸. doi: 10.22098/mmws.2023.13078.1301

اصغری، رضا، داداشی، محمدرضا، رضوی، سید علیرضا، فیضی، حسن و بختیاری، سعید (۱۳۹۸). تأثیر کود گاوی بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک زعفران تحت تنش شوری (*Crocus sativus* L.). *زراعت و فناوری زعفران*، ۷(۲)، ۱۷۱–۱۸۴. doi: 10.22048/jsat.2018.98710.1257

اکبری، امیر، ضیائی، علی‌نقی، ناقدی‌فر، سیدمحمدرضا، رضوانی‌مقدم، پرویز و غلامی شرفخانه، مهدی (۱۴۰۲). بهبود برنامه‌ریزی آبیاری زعفران با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و مدل‌سازی گیاهی. *زراعت و فناوری زعفران*، ۱۱(۱)، ۵۳–۶۹. doi:10.22048/jsat.2023.386578.1481

باقریفام، صبا، دلاور، محمد امیر، کشاورز، پیمان و کرمی، پرویز (۱۴۰۱). اثر تغییرات اقلیمی بر مقادیر ذخایر کربن آلی خاک اقلیم نیمه‌خشک مشهد با استفاده از مدل RothC. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۱۰)، ۲۳۴۹–۲۳۶۳. doi:10.22059/ijswr.2022.346264.669327

جهان‌تیغ، منصور، جهان تیغ، معین، دهمرده، خداداد و بیات، رضا (۱۴۰۱). تأثیر تغییرات شوری و روش آبیاری بر رشد محصولات گل‌محمدی و چای‌ترش در دشت سیستان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۱۸۱–۱۹۱. doi: 10.22098/mmws.2023.12061.1199

**References**

Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T.B.S., Singh, M., Pathak, H., & Ahmad, T., (2012). Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 110, 55–66. doi:10.1016/j.agwat.2012.04.001

Akbari, A., Ziaei, A., Naghedifar, S. M., Rezvani Moghaddam, P., & Gholami Sharafkhane, M. (2023). Improving saffron irrigation scheduling using field measurements and plant modeling. *Saffron Agronomy and Technology*, *11*(1), 53-69. doi:10.22048/jsat.2023.386578.1481. [In Persian]

Al-Dhuhli, H. S., Al-Rawahy, S. A., & Prathapar, S. (2010). Effectiveness of mulches to control soil salinity in sorghum fields irrigated with saline water. *the Monograph on Management of Salt-Affected Soils and Water for Sustainable Agriculture, edited by: Mushtaque, A., Al-Rawahi, SA, and Hussain, N., Sultan Qaboos University, Oman*, 41-46.

Allen, R. G. (1998). Crop Evapotranspiration-Guideline for computing crop water requirements. *Irrigation and Drain, 56, 300.*

Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M. A., & Rahnama, A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100(1), 1–8. doi:10.1016/j.agwat.2011.08.023.

Asghari, R., Dadashi, M., razavi, A., Feizi, H., & bakhtiari, S. (2019). Effect of cow manure on yield and morphological and physiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under salinity stress. *Saffron Agronomy and Technology*, *7*(2), 171-184. doi:10.22048/jsat.2018.98710.1257. [In Persian]

Bagherifam, S., Delavar, M. A., Keshavarz, P., & Karami, P. (2022). Modeling the impact of climate change on soil organic carbon pools in the semi-arid climate of Mashhad using the RothC model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *53*(10), 2349-2363. doi:10.22059/ijswr.2022.346264.669327. [In Persian]

Chen, S., Jiang, T., Ma, H., He, C., Xu, F., Malone, R. W., Feng, H., Yu, Q., Siddique, K. H. M., & He, J. (2020). Dynamic within-season irrigation scheduling for maize production in Northwest China: A method based on weather data fusion and yield prediction by DSSAT. *Agricultural and Forest Meteorology*, 285, 107928. doi:10.1016/j.agrformet.2020.107928.

Dastranj, M., & Sepaskhah, A. R. (2019). Saffron response to irrigation regime, salinity and planting

method. *Scientia Horticulturae, 251*, 215-224. doi:10.1016/j.scienta.2019.03.027.

Ebrahimipak, N., Ahmadee, M., Egdernezhad, A., Khashei Suiki, A., 2018. Evaluation of AquaCrop to simulate saffron (*Crocus sativus* l.) yield under different water management scenarios and zeolite amounts. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 8(1), 117–132.

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. *Agronomy Journal*, 101(3), 448459. doi:10.2134/agronj2008.0218s.

Jahantigh, M. , Jahantigh, M. , Dhemardhe, K. and Bayat, R. (2023). The effect of changes in salinity and irrigation method on the growth of Rose and Hibiscus sabdariffa crops in the Sistan plain. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 181-191. doi: 10.22098/mmws.2023.12061.1199. [In Persian]

Kahkhamoghadam, P. , Ziaei, A. N. , Davary, K. , Kanooni, A. and Sadeghi, S. (2024). Scheduling and optimal delivery of water in irrigation networks by combining the AquaCrop model and genetic algorithm. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(4), 255-268. doi:10.22098/mmws.2023.14039.1382. [In Persian]

Malik, A., Shakir, A. S., Ajmal, M., Khan, M. J., & Khan, T. A. (2017). Assessment of AquaCrop model in simulating sugar beet canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of Pakistan. *Water Resources Management*, 31, 4275-4292. doi:10.1007/s11269-017-1745-z

Minhas, P. S., Ramos, T. B., Ben-Gal, A., & Pereira, L. S. (2020). Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, 227, 105832. doi:10.1016/j.agwat.2019.105832

Mirsafi, Z. S., Sepaskhah, A. R., Ahmadi, S. H., & Kamgar-Haghighi, A. A. (2016). Assessment of AquaCrop model for simulating growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 211, 343-351. doi:10.1016/j.scienta.2016.09.020.

Mosaferyzyaaldiny, H. , Alizadeh, A., & Rezvani Moghaddam, P. (2020). Effect of Irrigation Regimes on Crop Water Use Efficiency of saffron (Case study: The Bakharz region of Khorasan Razavi, Iran). *Saffron Agronomy and Technology*, *8*(4), 497-510. doi:10.22048/jsat.2020.225629.1389. [In Persian]

Mzabri, I., Rimani, M., Charif, K., Kouddane, N., & Berrichi, A. (2021). Study of the Effect of Mulching Materials on Weed Control in Saffron Cultivation in Eastern Morocco. *The Scientific World Journal*, 2021. doi: 1155/2021/9727004.

Natavan, Z. , Moradi, R. , Naghizadeh, M. and Pourghasemian, N. (2023). Effect of various chemical and organic mulch types on soil phyisico-chemical characteristics and qualitative and quantitative yield of saffron in Qaenat region. *Saffron Agronomy and Technology*, *10*(4), 325-341. doi: 10.22048/jsat.2022.368175.1473. [In Persian]

Nayebi, J., Hajirad, I., Pourgholam-Amiji, M., Azari, A., & Panahzadeh, S. (2024). Assessing the status of various irrigation methods in Hokmabad lands of Tabriz city with the Charles Burt method. *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(3), 253-268. doi: 10.22098/mmws.2023.13078.1301. [In Persian]

Pirasteh‐Anosheh, H., Babaie‐Zarch, M. J., Nasrabadi, M., Parnian, A., Alavi‐Siney, S. M., Beyrami, H., & Race, M. (2023). Climate and management factors influence saffron yield in different environments. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, e20418. doi:10.1002/agg2.20418.

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. *Agronomy Journal*, 101(3), 438–447. doi:10.2134/agronj2008.0140s.

Sepaskhah, A. R., & Yarami, N. (2009). Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(2), 216-222. doi: 10.1080/14620316.2009.11512507.

Sepaskhah, A.R., Amini-Nejad, M., & Kamgar-Haghighi, A.A., (2013). Developing a dynamic yield and growth model for saffron under different irrigation regimes. *International Journal of Plant Production*. 7 (3), 437–504. doi:10.22069/ijpp.2013.1115

Shanono, N. J., Abba, B. S., & Nasidi, N. M. (2022). Evaluation of Aqua-Crop model using onion crop under deficit irrigation and mulch in semi-arid Nigeria. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, *3*(1), 131-145. doi:10.46592/turkager.1078082.

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. *Agronomy Journal*, 101(3), 426–437. doi: 10.2134/agronj2008.0139s.

Yarami, N., & Sepaskhah, A. R. (2015). Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method. *Agricultural Water Management*, 150, 57-66. doi:10.1016/j.agwat.2014.12.004

Yarami, N., & Sepaskhah, A. R. (2016a). Effect of irrigation water salinity, manure application and planting method on qualitative compounds of saffron (*Crocus sativus* L.). *International Journal of Plant Production*, 10(2). doi:10.22069/ijpp.2016.2784.

Yarami, N., & Sepaskhah, A.R. (2016b). Modification of the saffron model for growth and yield prediction under different irrigation water salinity, manure application and planting methods. *International Journal of Plant Production*, 10 (2). doi: 10.22069/ijpp.2016.2787.

Zhao, Y., Li, Y., Wang, J., Pang, H., & Li, Y. (2016). Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 363-370. doi: 10.1016/j.still.2015.08.019.

Zhao, Y., Pang, H., Wang, J., Huo, L., & Li, Y. (2014). Effects of straw mulch and buried straw on soil moisture and salinity in relation to sunflower growth and yield. *Field Crops Research*, 161, 16-25. doi: 10.1016/j.fcr.2014.02.006.