

**EXTENDED ABSTRACT**

**Irrigation Scheduling of Wheat to Increase Water Productivity  
Using AquaCrop Model**

M. Goosheh<sup>1</sup>, E. Pazira<sup>2</sup>, A. Gholami<sup>3\*</sup>, B. Andarzian<sup>4</sup> and E. Panahpour<sup>5</sup>

- 1- Department of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran; Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
- 2- Department of Soil Science, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran .
- 3\*- Corresponding Author, Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, (*ali.gholami54@gmail.com*).
- 4- Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agriculture and Natural Resources of Khuzestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran.
- 5- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Received: 8 October 2017

Revised: 1 February 2018

Accepted: 3 February 2018

**Keywords:** Arid and semi-arid regions, Irrigation, Simulation models, Water productivity, Wheat.

**DOI:** 10.22055/jise.2018.23252.1650.

**Introduction**

Khuzestan plain as one of the fertile regions in Iran is suffering from some problems such as soil salinity and water deficit. The most important irrigated crop in Khuzestan is wheat and its average yield in the southern parts of Khuzestan reaches 2 to 3 t ha<sup>-1</sup>. Irrigation management and optimal conditions, however, should be provided to reduce both water and salinity stresses in the crop yield in the region. To introduce the best irrigation schedule for wheat in the study area, we applied the AquaCrop model to simulate the irrigation scheduling for the crop. The aims were to (1) calibrate and validate the model, (2) determine the appropriate irrigation scheduling for wheat to improve water productivity and increase grain yield, and (3) also evaluate the performance of the model.

**Methodology**

To achieve the aims of the research, the Elhai region was selected in almost the provincial center with the coordinates of 31° 38' N and 48° 37' E. The AquaCrop model was, then, used for simulating grain yield and water productivity. This model required daily climate data, phenological and agronomic data, soil characteristics, irrigation water, and groundwater data to be able to simulate the plant and soil parameters. A field experiment was conducted in the Elhai area for collecting the data as was mentioned above (as model inputs) during the wheat growth season (2014-2015). Two farms with different soil characteristics were selected for this purpose. However, in order to calibrate and validate the model, more data was needed. Therefore, two other field experiments were carried out in the site of Veys. Consequently, one farm was used for calibration and three farms were, in turn, used for the validation of the model. Sampling from soil profile (1.2 m) was carried out in the growing season. Water and ground water samples were, then, taken in each irrigation event. In order to be able to assess the irrigation scheduling scenarios accurately, it was necessary to consider a wide range of events, times and amounts of water in simulating scenarios. In this case, ten scenarios were run for simulating the grain yield and water productivity for a 12-year period (2003-2014) in farm 1 of Elhai (Table 1).

## Results and Discussion

According to the results of Table 2, there was a good fit for canopy cover and biomass between the measured and simulated values, but for the soil water content parameter, the data conformance was between moderate to good. This was due to the variability of the soil from one location to another in its actual condition, which was, in turn, as a result of non-homogeneity of soil (Jefferies & Been, 2016). However, as the difference was not significant in this study, the degree of compliance of the data was, thus, acceptable. Table 2 also shows the values of validation indices. According to the table, in each of the three parameters, the degree of agreement of the measured and simulated values were between good to very good. In Figure 1 (A), the results of simulation of grain yield for the scenarios are shown. The figure shows that grain yield in scenarios 9 and 10 (with about  $4.9 \text{ t ha}^{-1}$ ) was significantly higher than that of other scenarios (with at least  $4.2 \text{ t ha}^{-1}$  in scenario 5). The appropriate time and event of irrigation were the factors influencing yield increase in scenarios 9 and 10 (Table 1). Consequently, the effective root zone (ERZ) always had the sufficient moisture (Ferjani et al., 2013). On the other hand, irrigation scheduling in these two scenarios was arranged to reduce the water and salinity stresses in ERZ (Fernandez-Cirelli, 2009). Thus, the yield loss due to drought and salinity was minimized compared to other scenarios. The effect of simulated scenarios on water productivity is shown in Figure 1 (B). The results revealed that the highest amounts of water productivity was obtained in scenarios 9 and 10 (the highest value was 1.14 and the least value was  $1.04 \text{ kg m}^{-3}$ ). The results of some studies, including Benabdelouahab et al., (2016) in Morocco with semi-arid conditions, and Andarzian et al., (2011) and Mohammadi et al., (2016) in Iran showed that AquaCrop model was an appropriate tool for simulating the grain yield and water productivity in relation to irrigation management in salinity conditions.

**Table 1- Irrigation scheduling scenarios (events, times, and amount of water applied) in the Elhai region**

Scenarios	Irrigation events (DAS)**	Irrigation times	Irrigation amount (mm)
1*	1, 25, 60, 90, 115	5	400
2	1, 30, 60, 90, 115	5	400
3	1, 30 <sup>+</sup> , 60, 90 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	5	450
4	1, 30, 60, 80, 95, 115	6	450
5	1, 30 <sup>+</sup> , 60 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	6	500
6	1, 25, 50, 75, 90, 115	6	500
7	1, 25, 50, 65, 80, 95, 115	7	500
8	1, 25 <sup>+</sup> , 50 <sup>+</sup> , 65 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115	7	550
9	1, 20, 40 <sup>+</sup> , 60 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	7	600
10	1, 20 <sup>+</sup> , 40, 60 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	7	650

\*Reference irrigation scenario which has been applied in the field; \*\* DAS: days after sowing, (+): means more watering at that stage compare with the previous scenario.

**Table 2- Statistical indices of the measured and simulated values for the variables**

Indicator	Soil Water Content		Canopy Cover		Biomass	
	Calibration	Validation*	Calibration	Validation	Calibration	Validation
<i>r</i>	0.82	0.97,0.96,0.88	0.98	0.98,0.99,0.98	0.99	0.98,0.97,0.99
<i>RMSE</i> **	8.10	5.9,10.0,7.0	7.40	4.40,6.1,7.3	1.00	0.7,0.8,0.7
<i>NRMSE</i> (%)	5.00	3.8,6.6,4.3	13.0	9.20,15,12.6	11.4	9.3,11.2,8.3
<i>EF</i>	0.65	0.90,0.82,0.73	0.94	0.94,0.85,0.93	0.95	0.95,0.92,0.98
<i>d</i>	0.90	0.98,0.96,0.93	0.99	0.98,0.96,0.98	0.99	0.99,0.98,0.99

\*for three farms. \*\*Units for SWC, Canopy Cover, and Biomass are (mm water), (%), ( $\text{t ha}^{-1}$ ), respectively.

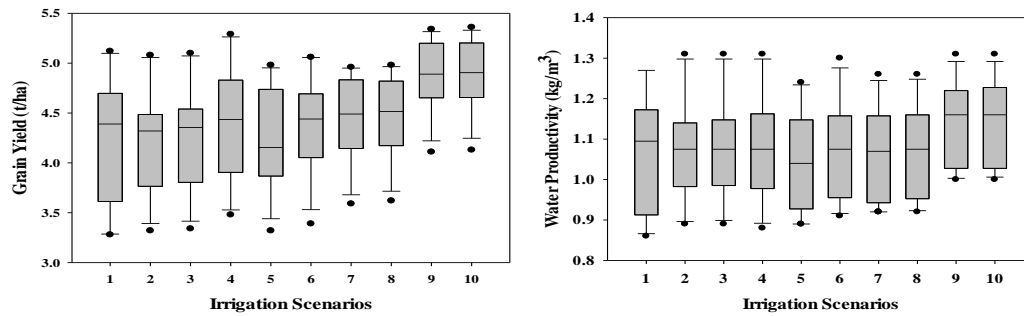


Fig. 1- Simulated grain yield and water productivity in the scenarios during 2003-2014

## Conclusions

In the present study, the AquaCrop model was run to determine the proper irrigation schedule for wheat through the simulation of different scenarios for the years 2003-2014. To collect data for the model input, a field experiment was conducted in Elhai region during the wheat growth season (2014-2015). The model was first calibrated and validated. The evaluation results showed that the model was able to predict the development of crop canopy, biomass, and soil moisture changes in the experimental conditions. Then, the simulation results of irrigation scheduling scenarios were evaluated. It was found that scenarios 9 and 10 (with 7 irrigation events and 600-650 mm water amounts) were significantly better than other scenarios in terms of the grain yield and water productivity.

## Acknowledgement

The authors would like to thank Khuzestan Research and Education Center of Agriculture and Natural Resources, on behalf of the Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran, for providing financial and executive support to this research.

## References

- 1- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A., and Rahnama, A., 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100, pp. 1-8.
- 2- Benabdelouahab, T., Balaghi, R., Hadria, R., Lionboui, H., Djaby, B., and Tychon, B., 2016. Testing AquaCrop to simulation a semi-arid irrigated perimeter in Morocco. *Irrigation and Drainage*.
- 3- Ferjani, N., Daghari, H., and Hammami, M., 2013. Assessment of actual irrigation management in Kalaat El Andalous District (Tunisia): Impact on soil salinity and water table level. *Journal of Agricultural Science*, 5, pp. 46-56.
- 4- Fernandez-Cirelli, A., Arumi, J.L., Rivera, D., and Boochs, P.W., 2009. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid regions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69 (Suppl.1), pp. 27-40.
- 5- Jefferies, M., and Been, K., 2016. Soil variability and characteristic states, In: *Soil Liquefaction: A Critical State Approach*. CRC Press, Second Edition, pp. 203-224.
- 6- Mohammadi, M., Ghahramani, B., Davary, K., Ansari, H., Shahidi, A., and 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. *Irrigation and Drainage*, 65, pp. 112-128.



## برنامه‌ریزی آبیاری به منظور ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در زراعت گندم با استفاده از مدل AquaCrop

محمی‌الدین گوشه<sup>۱</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۲</sup>، علی غلامی<sup>۳\*</sup>، بهرام اندرزبان<sup>۴</sup> و ابراهیم پناه‌پور<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- عضو هیات علمی گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- نویسنده مسئول، عضو هیات علمی گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران [ali.gholami54@gmail.com](mailto:ali.gholami54@gmail.com)

۴- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

۵- عضو هیات علمی گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۲

دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۶

### چکیده

برنامه‌ریزی آبیاری به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت آب در مزرعه نقش کلیدی در ارتقای بهره‌وری مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌نماید. آبیاری مازاد و فاصله طولانی بین آبیاری‌ها از نقاط ضعف در برنامه‌ریزی آبیاری رایج در مزارع گندم خوزستان به‌شمار می‌آیند. لذا این تحقیق با هدف برنامه‌ریزی آبیاری به‌منظور افزایش عملکرد گندم و بهره‌وری مصرف آب در دو منطقه از جنوب استان اجرا گردید. در این تحقیق به کمک مدل آکواکراپ، ۱۰ سناریوی برنامه‌ریزی آبیاری از پنج نوبت آبیاری به میزان ۴۰۰ میلی‌متر تا هفت نوبت به میزان ۶۵۰ میلی‌متر، برای یک دوره ۱۲ ساله شبیه‌سازی و اثرات هر سناریو بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب با یکدیگر مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد (۴۹۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سال‌های شبیه‌سازی به سناریوهای نه و ۱۰ (هفت نوبت آبیاری با ۶۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر آب مصرفی) تعلق داشته و در مقابل کمترین مقدار (۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به سناریوی پنج (با شش نوبت آبیاری و ۵۰۰ میلی‌متر آب) اختصاص داشت. بالاترین نتایج بهره‌وری مصرف آب نیز متعلق به سناریوهای نه و ۱۰ (۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) و پایین‌ترین نتایج (۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب) در سناریوی پنج حاصل گردید. همچنین شاخص‌های ارزیابی ضریب پیروسون، خطای میانگین مربعات ریشه (نرمال شده) و شاخص سازگاری ویلموت به‌ترتیب برای مقدار آب خاک ۰/۸۲، ۵ و ۰/۹۰ درصد، پوشش سایه‌انداز ۰/۹۸، ۱۳ و ۰/۹۹، و بیوماس ۰/۹۹، ۱۱/۴ و ۰/۹۹ بودند. لذا، نتایج ارزیابی نشان از توانایی قابل قبول مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده دارد.

**کلید واژه‌ها:** آبیاری، بهره‌وری آب، گندم، مدل شبیه‌سازی، منطقه خشک و نیمه‌خشک.

### مقدمه

شوری خاک ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، در کلیه ارقام کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی رخ داد به‌طوری‌که در شرایط تنش، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب ۶/۶۳ و ۴/۵۳ درصد کاهش یافت (Rajabi et al., 2000).

یکی از علل پایین بودن عملکرد گیاه، تجمع شوری در منطقه ریشه در فاصله طولانی بین دو آبیاری می‌باشد (Smedema, 2007). نتایج تحقیقاتی در مصر نیز نشان داد که با تنظیم برنامه‌ریزی مناسب آبیاری، عملکرد گندم نسبت به مدیریت آبیاری رایج در منطقه، افزایش معنی‌داری یافت (El-Mesiry et al., 2007). از پیامدهای سوء مدیریت آبیاری در سطح جهانی، از دست رفتن حدود یک سوم از اراضی آبی جهان گزارش گردیده است

جلگه خوزستان که در منطقه خشک و نیمه‌خشک جنوب غربی ایران واقع شده است، یکی از مناطق حاصل‌خیز بوده که همانند اغلب نقاط کشور با بحران کم آبی مواجه است. درجه حرارت بالا (تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان) سبب شده تا پتانسیل تبخیر افزایش یافته و میانگین سالانه آن به بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر برسد. در مقابل، متوسط بارندگی سالانه آن پایین بوده و اغلب کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است که ۱۶ بار کمتر از مقدار تبخیر سالانه می‌باشد (Qadir et al., 2007).

در تحقیقی اثرات شوری بر کاهش عملکرد و برخی از صفات فیزیولوژیکی ۳۰ رقم گندم را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در

گردید. وجود دو رودخانه مهم کارون و کرخه به عنوان منابع تامین آب آبیاری، مبنای انتخاب دو منطقه برای اجرای این تحقیق بود. این مناطق عبارتند از، الهایی (۳۱' ۳۸' شمالی و ۳۷' ۴۸' شرقی) و ویس (۳۱' ۳۰' شمالی و ۵۴' ۴۸' شرقی) در حوضه رودخانه‌های به ترتیب کرخه و کارون.

### توصیف مدل

آکواکراپ یک مدل شبیه‌سازی گیاه- بهره‌وری آب است که براساس رابطه پاسخ عملکرد به آب مصرفی، توسط فائو ( Raes et al., 2015)، ارائه شده است. در این مدل، شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس در ارتباط با آب قابل دسترس گیاه بر پایه یک رابطه تجربی که توسط Doorenbos و Kassam (1979) ارائه شده، پایه‌گذاری گردیده است. این مدل برای شبیه‌سازی خصوصیات گیاهی و خاک به داده‌های روزانه اقلیمی، داده‌های فنولوژیکی و زراعی، خصوصیات خاک، آب آبیاری (مقدار و زمان آبیاری و کیفیت آب) و آب زیرزمینی (عمق و شوری آن) نیاز داشته که همه آن‌ها به سهولت قابل جمع‌آوری هستند. رژیم‌های حرارتی، بارندگی، نیاز تبخیری و غلظت دی‌اکسید کربن از خصوصیات اقلیمی، تعادل آب در خاک به عنوان ویژگی خاک، از خصوصیت مدیریتی چگونگی آبیاری و رواناب، وضعیت حاصلخیزی و شوری خاک و از خصوصیات گیاهی رشد، توسعه و عملکرد، در این مدل مورد توجه قرار می‌گیرند (Mohammadi et al., 2016).

عملکرد گیاه به عنوان محصول بیوماس خشک از طریق شاخص برداشت تخمین زده می‌شود. این عمل از طریق تفکیک بیوماس به بخش‌های عملکرد به کمک شاخص برداشت شبیه‌سازی می‌شود که از ویژگی‌های خاص این مدل است. از جنبه‌های خاص دیگر این مدل که آن را از سایر مدل‌هایی که کاربرد مشابه دارند، متمایز می‌نماید استفاده از پوشش سایه‌انداز (Conopy cover) به جای شاخص سطح برگ (Leaf area index) است.

### جمع‌آوری داده‌های ورودی مدل

داده‌های هواشناسی ۱۲ ساله (۹۳-۱۳۸۲) از ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز برای دو منطقه الهایی (با فاصله مستقیم ۲۱ کیلومتر) و ویس (با فاصله مستقیم ۱۲ کیلومتر) جمع‌آوری گردیدند. این اطلاعات شامل داده‌های روزانه درجه حرارت حداکثر و حداقل هوا، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارندگی بودند. برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع از نرم افزار Calculator نسخه ۳.۲ استفاده گردید (Raes, 2012).

برای جمع‌آوری داده‌های زراعی از آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام شده در فصل کشت ۹۴-۱۳۹۳ در مناطق مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور در هر منطقه دو مزرعه (در مجموع چهار مزرعه) با

(Fernandez-Cirelli, 2009). برنامه‌ریزی آبیاری (به معنی تنظیم زمان، دفعات و مقدار آبیاری)، یکی از اقدامات مدیریتی برای حصول عملکرد بهینه است (Araya et al., 2016).

نتایج تحقیقی در عراق نشان داد که مصرف ۵۰۰ میلی‌متر آب آبیاری و ثابت نگه‌داشتن سطح ایستابی در عمق دو متری از سطح خاک، باعث حصول بیشترین عملکرد محصول گندم شده است (Qureshi et al., 2013). برنامه‌ریزی آبیاری به خصوص در مناطق خشک و کم‌آب از اهمیت بیشتری برخوردار است. تحقیقی در سوریه نشان داد که در این شرایط، با تنظیم زمان آبیاری در مراحل آبستنی تا پرشدن دانه گندم (دوره زمانی کمبود یا قطع بارش)، عملکرد ۴-۵ تن در هکتار به دست آمد (Zhang and Oweis, 1999).

در سال‌های اخیر، مدل‌های شبیه‌سازی در مطالعه آبیاری و پاسخ گیاهان مختلف به آن در شرایط محیطی و خاک متفاوت، به شکل گسترده‌ای کاربرد داشته‌اند (Nain and Kersebaum, 2007). کاربرد موفقیت‌آمیز شبیه‌سازی رشد و عملکرد غلات به کمک مدل‌های خانواده CERES از جمله DSSAT Jones et al. (2003) و همچنین سایر مدل‌ها شامل MOPECO-Salt (2003) Dominguez et al. (2011)، SWAT Liu et al. (2015)، Keating et APSIM (2014) Abi Saab et al. CropSyst (2003) al. تحت شرایط مدیریت‌های مختلف آب تایید شده است. گزارش‌های متعدد نشان می‌دهد که مدل آکواکراپ نیز ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی تاثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد محصولات مختلف می‌باشد. از جمله می‌توان به نتایج تحقیقات در مورد گندم Trombetta et al. (2016)، سورگوم Araya et al. (2016)، ذرت Gebreselassie et al. (2015)، جو Tavakoli et al. (2015)، برنج Mondal et al. (2015)، سیب‌زمینی Bitri et al. (2014)، و کلزا Zeleke et al. (2011) اشاره نمود. لذا تحقیق حاضر در منطقه‌ای از بخش مرکزی جلگه خوزستان با اهداف زیر اجرا گردید، ۱) واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شرایط خاک و اقلیم منطقه، ۲) ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در شرایط منطقه و ۳) تعیین برنامه‌ریزی بهینه آبیاری (زمان، دفعات و مقدار آبیاری) از طریق مقایسه سناریوهای شبیه‌سازی برای سال‌های مختلف و تأثیر آن‌ها بر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب.

### مواد و روش‌ها

#### مناطق مورد مطالعه

استان خوزستان در جنوب غربی ایران با اقلیم خشک و نیمه خشک واقع گردیده است. تمرکز این تحقیق به بخش مرکزی خوزستان با شرایط وجود آب‌های زیر زمینی کم عمق، معطوف

آید. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در مدل این پارامتر جایگزین شاخص سطح برگ گردیده است.

به‌منظور بررسی روند تغییرات رطوبت و شوری نیمرخ خاک (برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل)، در سه مقطع زمانی قبل از کاشت، قبل از برداشت و در فصل رشد (قبل و بعد از هر بار آبیاری) نمونه‌برداری از لایه‌های ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. جدول (۱) مقادیر شوری و رطوبت خاک در شروع فصل کشت (شرایط اولیه) برای دو منطقه و جدول (۲) برخی خصوصیات خاک که در مدل کاربرد دارند، را نشان می‌دهد.

مدیریت‌های متفاوت انتخاب گردید. از داده‌های برداشت‌شده یک مزرعه برای واسنجی مدل و از داده‌های سه مزرعه دیگر برای اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. در تمام این مزارع، گندم رقم چمران کشت شد. تاریخ کاشت در الهایی و ویس به‌ترتیب ۲۳ آبان و یک آذر بود. در طول فصل رشد (۱۴۵ روز از کاشت تا برداشت) مراحل فنولوژیکی گیاه ثبت گردید. همچنین برای تعیین تغییرات سایه‌انداز سبز از روش تصویربرداری دیجیتال رنگی قائم استفاده گردید. سپس تصاویر توسط نرم‌افزار Green Crop Tracker نسخه ۱.۰ (Liu and Pattey 2010) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند تا روند تغییرات سطح سایه‌انداز گیاه در فصل رشد به‌دست

جدول ۱- مقادیر رطوبت و شوری خاک در قبل از کشت (شرایط اولیه در مدل) برای فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳

Table 1- Soil water content and soil salinity ( $EC_e$ ,  $dS m^{-1}$ ) at the beginning of the growing season (2014-2015)

Soil depth (cm)	Elhai				Veys			
	Farm 1		Farm 2		Farm 1		Farm 2	
	SWC	$EC_e$	SWC	$EC_e$	SWC	$EC_e$	SWC	$EC_e$
0-30	28	7.1	27	10	28	4.4	30	4.0
30-60	31	6.8	29	9.7	30	2.2	36	2.0
60-90	31	8.8	30	10.7	28	2.1	45	1.8
90-120	26	9.5	25	11.7	25	1.7	47	1.7

جدول ۲- برخی خصوصیات خاک مناطق تحقیق برای فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳

Table 2- Soil physical characteristics in the studied region

Site	Depth (cm)	Textural Class	PWP	FC		BD ( $g cm^{-3}$ )
				SP	(Vol. %)	
	0-30	CL	22	37	47	1.40
	30-60	CL	24	37	48	1.42
	60-90	CL	24	37	46	1.43
	90-120	CL	21	36	47	1.39
	0-30	CL	23	38	48	1.39
	30-60	SiCL	23	38	48	1.38
	60-90	SiL	17	33	46	1.41
	90-120	SiCL	20	37	49	1.36
	0-30	L	16	32	47	1.42
	30-60	L	15	30	45	1.45
	60-90	L	9	24	45	1.46
	90-120	SaL	10	22	44	1.48
	0-30	CL	18	34	47	1.40
	30-60	L	17	31	45	1.45
	60-90	CL	20	35	48	1.39
	90-120	CL	22	37	48	1.38

**واسنجی و اعتبارسنجی مدل**

به منظور افزایش دقت در ارزیابی مشاهدات مزرعه‌ای، لازم است مدل ابتدا واسنجی (calibration) و سپس اعتبارسنجی (validation) گردد. برای واسنجی از داده‌های مزرعه یک منطقه الهایی و برای صحت‌سنجی آن از اطلاعات جمع‌آوری شده در مزرعه دو الهایی و مزارع یک و دو ویس استفاده گردید.

اما مدل برای واسنجی به دو گروه پارامتر گیاهی نیاز دارد، ثابت و غیر ثابت. پارامترهای پیش‌فرض (ثابت) آن‌هایی هستند که تحت تاثیر شرایط مختلف تغییر نکرده و برای یک گیاه مشخص همواره ثابت هستند. این گروه داده پیش‌فرض مدل بوده و قابل تغییر نیستند. اما گروه دوم پارامترهایی هستند که بسته به شرایط محیطی و اقلیمی حتی برای یک گیاه مشخص، تغییر کرده و لازم است از طریق انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به‌دست آیند. برخی از این پارامترها وابسته به رقم-گونه و برخی وابسته به شرایط محل و مدیریت مزرعه می‌باشند (Andarzian et al., 2011). مقادیر پارامترهای ثابت در جدول (۳) و پارامترهای متغیر در جدول (۴) آورده شده‌اند.

در نهایت برای هر دو واسنجی و اعتبارسنجی مدل، مقادیر اندازه‌گیری (مشاهده) و شبیه‌سازی شده پوشش سایه‌انداز گیاه، بیوماس اندام‌های هوایی و مقدار آب خاک (تا عمق ۶۰ سانتی‌متر فوقانی) مقایسه و تحلیل آماری گردیدند. برای ارزیابی آماری نیز از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE)، خطای میانگین مربعات ریشه نرمال شده

(NRMSE)، ضریب راندمان مدل Nash-Sutcliffe (EF) و شاخص سازش ویلموت (d)، استفاده گردید. این شاخص‌ها در روابط (۱) تا (۵) آورده شده‌اند (Raes et al., 2015):

$$r = \frac{\sum(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum(O_i - \bar{O})^2 \sum(P_i - \bar{P})^2}} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \left[ \sqrt{\frac{\sum(P_i - O_i)^2}{n}} \right] \times 100 \quad (۳)$$

$$EF = 1 - \left[ \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (۴)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (۵)$$

که در این روابط  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب مقادیر مشاهده و تخمین زده شده می‌باشند؛  $\bar{O}$  و  $\bar{P}$  نیز مقادیر میانگین آن‌ها هستند؛ n تعداد مشاهدات برای پوشش سایه‌انداز گیاه، بیوماس و مقدار آب خاک می‌باشند.

**جدول ۳- مقادیر پارامترهای ثابت در واسنجی مدل آکواکراپ (برای گندم)**

**Table 3- Values of default for wheat used for calibrating AquaCrop**

Parameter	Value	Unit/meaning
Base Temperature	10	°C
Upper Temperature	30	°C
Canopy cover per seedling	1.5	cm <sup>2</sup> plant <sup>-1</sup>
Length building up HI	40	day
Shape factor root zone expansion	1.5	Unit less
Effect of canopy shelter in late season	60	%
Crop transpiration coefficient (well watered crop)	1.1	Unit less
Normalized crop water productivity (WP*)	15	g m <sup>-1</sup>
Canopy expansion coefficients		
P (upper)	0.25	% (of TAW)
P (lower)	0.55	% (of TAW)
shape factor	3	Unit less
Stomatal closure coefficients		
P (upper)	0.65	% (of TAW)
shape factor	3	Unit less
Early canopy senescence coefficients		
P (upper)	0.85	% (of TAW)
shape factor	3	Unit less
Water stress coefficient during flowering (p-upper)	0.90	% (of TAW)

TAW: total available water at root zone

جدول ۴- مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده برای واسنجی مدل از داده‌های مزرعه یک الهایی (سال ۹۴-۱۳۹۳)

Table 4- Values of measured parameters obtained from the farm 1 in Elhai (2014-2015)

Parameter	Values	Unit or meaning
Initial Canopy Cover (CCo)	7.95	%
Plant density	235	kg seed ha <sup>-1</sup>
Maximum canopy cover	92	%
Reference Harvest Index (HIo)	0.35	Unit less
Time from sowing to emergence	7	day
Time from sowing to maximum canopy	85	day
Time from sowing to flowering	91	day
Duration of flowering	12	day
Time from sowing to senescence	105	day
Time from sowing to maturity	145	day
Canopy decline	42	day (very slow)
Canopy decline coefficient (CDC)	6.8	day
Canopy expansion	-	slow
Minimum root zone	30	cm
Maximum root zone	60	cm
Time from sowing to maximum rooting depth	85	day
Salinity stress (ECe thresholds)	-	not considered
Temperature stress	-	not considered
Fertility stress	-	not considered

### نتایج و بحث

#### واسنجی مدل

شکل (۱) روابط بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس اندام‌های هوایی را برای واسنجی مدل نشان می‌دهد. هر مقدار اندازه‌گیری در شکل، میانگین سه مشاهده است ( $n=3$ ). نتایج حاصل از شکل و مقادیر شاخص‌های آماری جدول مقایسه داده‌ها نشان‌دهنده انطباق خیلی خوب مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای پوشش سایه‌انداز و بیوماس است. در مورد پارامتر مقدار آب خاک، اگرچه میزان انطباق به اندازه دو مورد دیگر نبود، لیکن تحلیل آماری نشان داد که میزان انطباق آن در حد قابل قبول است (جدول ۵). براساس نتایج این جدول، برای پارامتر مقدار آب خاک میزان انطباق داده‌ها بین خوب تا خیلی خوب قرار گرفت. این به دلیل تغییرپذیری مکانی خاک از محلی به محل دیگر در شرایط واقعی آن (شرایط مزرعه) است که ناشی از خاصیت غیرهمگنی خاک است (Jefferies and Been, 2016). در واقع مقدار آب حتی در یک حجم محدود خاک مقدار ثابتی نیست، درحالی‌که مدل آن را محیطی همگن فرض می‌نماید و در نتیجه در همان حجم مشخص خاک مقدار آب ثابتی را محاسبه می‌نماید. تفاوت بین این دو شرایط باعث ایجاد اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری (شرایط واقعی) و شبیه‌سازی‌شده (شرایط فرضی) گردیده است. البته در این تحقیق میزان انطباق داده‌ها در حد قابل قبول شده است.

#### کاربرد مدل در ارزیابی سناریوها

برای این‌که بتوان ارزیابی دقیقی بر سناریوهای برنامه‌ریزی آبیاری بشود، لازم بود در شبیه‌سازی سناریوها دامنه گسترده‌ای از زمان، دفعات آبیاری و مقدار مصرف آب در هر نوبت را مد نظر قرار داد تا شرایط قطع، کمبود یا بیش‌بود آب در مراحل حساس رشد گندم پوشش داده شود. لذا در تنظیم سناریوها به‌جز اولین آب به منظور جوانه زنی و استقرار گیاهچه، مراحل مهمی چون پنجه‌زنی، طولیل شدن ساقه، گل‌دهی، و پرشدن دانه در نظر گرفته شدند. سپس مدل برای هر سناریو از نظر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در یک دوره ۱۲ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳) برای مزرعه یک در منطقه الهایی اجرا گردید. مدل برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب از نسبت عملکرد دانه به تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده استفاده می‌نماید.

همچنین داده‌های بارندگی بلند مدت (۵۶ ساله) این منطقه از ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز تهیه و سپس به کمک نرم‌افزار Rainbow نسخه ۲،۲ (Raes et al. 2006) توزیع احتمال تجمعی بارندگی برای سال‌های خشک، نرمال و تر مشخص گردید. به کمک این نرم‌افزار میزان بارندگی در سال خشک ۱۵۴ میلی‌متر و کمتر، برای سال نرمال ۲۲۲ و سال تر ۲۹۱ میلی‌متر و بیشتر تعیین گردید. در نهایت سناریویی به‌عنوان سناریوی بهینه معرفی می‌گردد که بیشترین عملکرد دانه و بهره‌وری آب از آن به‌دست آید.



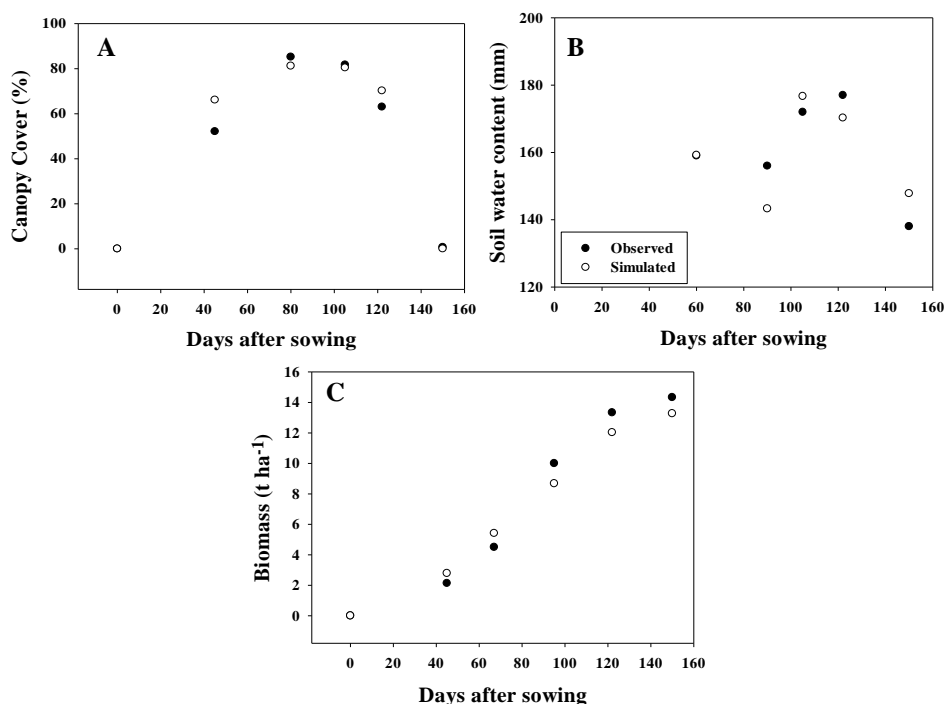


Fig. 1- The observed and simulated values for A) soil water content, B) canopy cover, and C) biomass in the model calibration

شکل ۱- مقایسه بین تغییرات مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با گذشت زمان از تاریخ کاشت برای واسنجی مدل در، (A) مقدار آب خاک، (B) پوشش سایه‌انداز، و (C) بیوماس

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده پارامترها برای واسنجی مدل

Table 5- Statistical indices the measured and simulated values for calibration of the model

Indicator	Soil Water Content	Canopy Cover	Biomass
R	0.82	0.98	0.99
RMSE*	8.10	7.40	1.00
NRMSE (%)	5.00	13.0	11.4
EF	0.65	0.94	0.95
D	0.90	0.99	0.99

\*The units for SWC, Canopy Cover, and Biomass are (mm water), (%), (t ha<sup>-1</sup>), respectively

پارامتر است. شاخص‌های آماری مطرح شده در بخش واسنجی، برای اعتبارسنجی مدل نیز به‌کار برده شد. جدول (۶) مقادیر این شاخص‌ها را برای هر سه پارامتر نشان می‌دهد. مطابق جدول، در هر سه پارامتر میزان انطباق مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده بین خوب تا خیلی خوب قرار داشته‌اند.

### اعتبارسنجی مدل

روابط بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار آب خاک، پوشش سایه‌انداز و بیوماس برای اعتبارسنجی مدل (از اندازه‌گیری در مزارع دو الهایی و یک و دو ویس) در شکل (۲) نشان داده شده است. ضرایب تعیین ( $R^2$ ) به‌دست آمده از مقایسه داده‌ها نشان‌دهنده همبستگی خیلی خوب بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی هر سه

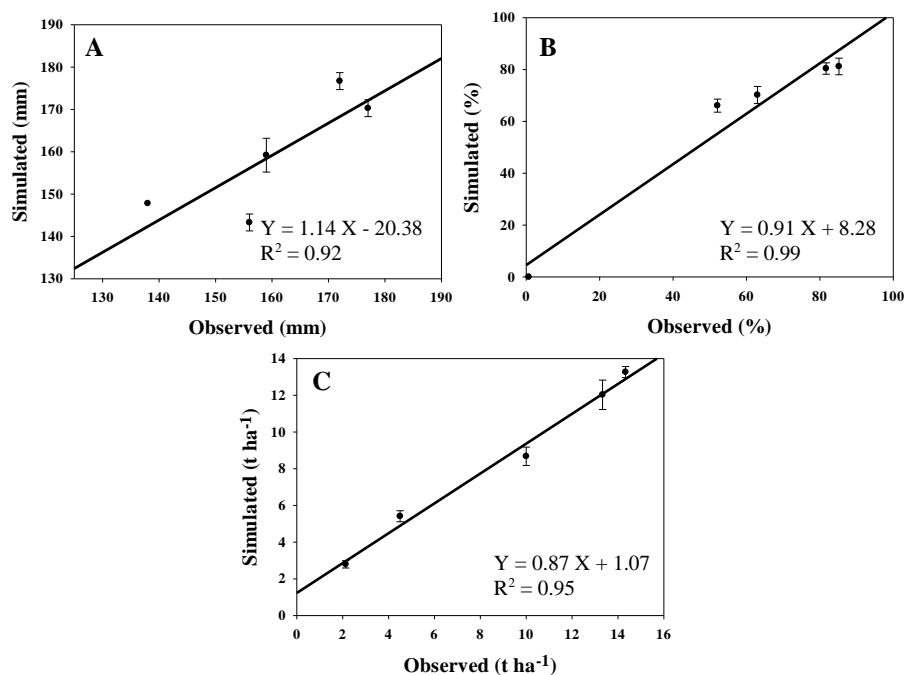


Fig. 2- Comparison between the observed and simulated values for A) soil water content, B) canopy cover, and C) biomass in the model validation

شکل ۲- مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای اعتبارسنجی مدل در، (A) مقدار آب خاک، (B) پوشش سایه‌انداز، و (C) بیوماس

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده پارامترها برای اعتبارسنجی مدل

Table 6- Statistical indices the measured and simulated values for validating the model

Indicator	Veys-farm 1			Veys-farm 2			Elhai-farm 2		
	SWC	CC	B	SWC	CC	B	SWC	CC	B
r	0.97	0.98	0.98	0.96	0.99	0.97	0.88	0.98	0.99
RMSE*	5.90	4.40	0.70	10.0	6.10	0.80	7.00	7.30	0.70
NRMSE (%)	3.80	9.20	9.30	6.60	15.0	11.2	4.30	12.6	8.30
EF	0.90	0.94	0.95	0.82	0.85	0.92	0.73	0.93	0.98
D	0.98	0.98	0.99	0.96	0.96	0.98	0.93	0.98	0.99

\*The units for SWC, Canopy Cover (CC), and Biomass (B) are (mm water), (%), (t ha<sup>-1</sup>), respectively.

#### عملکرد دانه

در شکل (۳-الف) نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه برای سناریوهای پیشنهادی نشان داده شده است. نتایج حاکی از برتری سناریوهای نه و ۱۰ (با هفت نوبت آبیاری و به میزان ۶۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر)، در افزایش میانگین عملکرد دانه (۴۹۰۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سایر سناریوها است. کمترین میانگین عملکرد دانه نیز، مربوط به سناریوی پنج (شش نوبت آبیاری به میزان ۵۰۰ میلی‌متر) به میزان ۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و سپس سناریوهای مدیریت رایج آبیاری در منطقه، می‌باشد.

#### سناریوهای برنامه‌ریزی آبیاری

جدول (۷) شرح سناریوها (تاریخ، دفعات و مقدار خالص آب آبیاری) در دوره شبیه‌سازی برای مزرعه یک منطقه الهایی را نشان می‌دهد. سناریوهای یک تا سه مدیریت‌های آبیاری رایج در منطقه را شبیه‌سازی می‌نماید. همچنین سناریوی یک مدیریت آبیاری اعمال شده در مزرعه بود. سایر سناریوها همان‌طور که قبلاً اشاره شد بر اساس مراحل حساس رشد (تاریخ و دفعات آبیاری) و همچنین تحقیقات گذشته در منطقه برای مقدار آب خالص آبیاری انتخاب گردیدند.

جدول ۷- سناریوهای برنامه‌ریزی آبیاری (زمان، دفعات و مقدار) در مزرعه یک الهایی

Table 7- Irrigation scheduling scenarios (events, times, and amount) in the farm 1in Elhai

Scenarios <sup>a</sup>	Irrigation events (DAS) <sup>b</sup>	Irrigation times	Irrigation amount (mm)
1*	1, 25, 60, 90, 115	5	400
2	1, 30, 60, 90, 115	5	400
3	1, 30 <sup>+</sup> , 60, 90 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	5	450
4	1, 30, 60, 80, 95, 115	6	450
5	1, 30 <sup>+</sup> , 60 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	6	500
6	1, 25, 50, 75, 90, 115	6	500
7	1, 25, 50, 65, 80, 95, 115	7	500
8	1, 25 <sup>+</sup> , 50 <sup>+</sup> , 65 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115	7	550
9	1, 20, 40 <sup>+</sup> , 60 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	7	600
10	1, 20 <sup>+</sup> , 40, 60 <sup>+</sup> , 80 <sup>+</sup> , 95 <sup>+</sup> , 115 <sup>+</sup>	7	650

<sup>a</sup> Scenarios 1-3 are according to the traditional managements, \*Reference irrigation scenario which has been applied in the field; <sup>b</sup> DAS: days after sowing, dates coinciding: 1= sowing, 30= tillering, 60= stem elongation, 90= flowering, 115= grain filling; and (+): means more watering at that stage compare with the previous scenario.

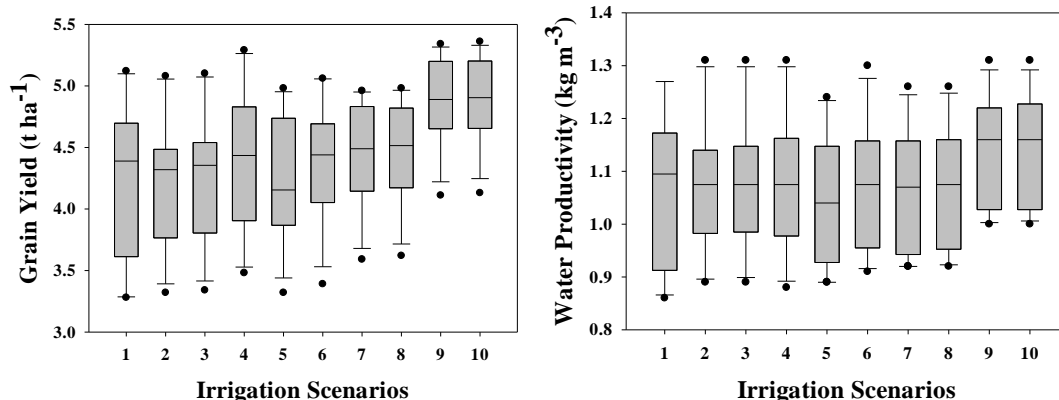


Fig. 3- The simulation of grain yield and water productivity in the irrigation scenarios during 2003-2014 in Elhai Region

شکل ۳- شبیه‌سازی عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در سناریوهای برنامه‌ریزی آبیاری برای سال‌های ۹۳-۱۳۸۲ در منطقه الهایی

تنش آبی و شوری مواجه می‌شود که نتیجه آن کاهش عملکرد گیاه است. بنابراین هرچه دفعات آبیاری بیشتر و فاصله بین آن‌ها کوتاه‌تر گردد، احتمال بروز تنش‌های خشکی و شوری برای گیاه کمتر می‌گردد (Fernandez-Cirelli et al., 2009). به همین دلیل در سناریوهای نه و ۱۰ عملکرد بیشتری حاصل شده است.

اثر زمان آبیاری بر عملکرد دانه در سناریوهایی که دفعات و میزان آبیاری یکسان داشته‌اند، مشهود است. از جمله در سناریوهای یک و دو و همچنین پنج و شش که دفعات و مقدار آبیاری در آن‌ها یکسان است (جدول ۷)، اما زمان آبیاری بین اولین و دومین (۲۵ و ۳۰ روز پس از کاشت) و همچنین دومین و سومین آبیاری (۵۰ و ۶۰ روز از تاریخ کاشت) متفاوت بوده است. تاخیر آبیاری در مراحل اولیه رشد گیاه از طریق کاهش رشد برگ و تعداد پنجه، سبب کاهش توسعه سطح سایه‌انداز و سایر اجزای گیاه شده و در نتیجه بیوماس و در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Andarzian et al.,

دلیل این‌که سناریوهای نه و ۱۰ از عملکرد بالاتری نسبت به سایر سناریوها برخوردار هستند را باید در تنظیم مناسب دور و دفعات آبیاری دانست، به طوری که منطقه ریشه گیاه همواره از رطوبت کافی برخوردار بوده و این خود دو مزیت دارد اول تامین آب سهل‌الوصول گیاه و جلوگیری از بروز تنش آبی (Ferjani et al., 2013). دوم کنترل شوری خاک از طریق مانع از برگشت شوری به ناحیه ریشه گیاه و در نتیجه جلوگیری از بروز تنش شوری.

در سال‌های خشک، در صورت نامناسب بودن دور آبیاری و وجود فاصله زمانی طولانی بین دو نوبت آبیاری، خاک سطحی خشک شده و با ازدیاد مکش خاک و برقراری صعود مویینه، آب به همراه نمک از سطح ایستایی کم عمق حرکتی رو به بالا برقرار نموده و به این طریق خاک سطحی شور می‌شود (Seeboonruang, 2013). این همان اتفاقی است که در سناریوهای یک تا سه رخ می‌دهد. در واقع در این سناریوها گیاه در فواصل بین دو آبیاری با دو

مصرف آب با کاهش میزان مصرف آب، کاهش یافته است. تاثیر معنی‌دار حجم آب مصرفی بر بهره‌وری آب نیز در دشت شمال چین که با کمبود آب با کیفیت مطلوب مواجه است، تایید شده است (Wang et al., 2015).

نتایج مشابه این تحقیق در مراکش با شرایط نیمه خشک Benabdelouahab et al. (2016)، و ایران برای شرایط شوری و کم آبی (Mohammadi et al., 2016)، گزارش شده که همگی نشان می‌دهند مدل آکواکراپ ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در ارتباط با مدیریت آبیاری است.

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف تعیین برنامه‌ریزی آبیاری بهینه برای محصول گندم در اراضی جنوبی استان خوزستان از طریق شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آبیاری با استفاده از مدل آکواکراپ نسخه پنج برای سال‌های ۹۳-۱۳۸۲ در آزمایش مزرعه‌ای در دو منطقه و چهار مزرعه اجرا شد. مدل ابتدا واسنجی و سپس اعتبارسنجی گردید. نتایج ارزیابی آن حاکی از توانایی خوب مدل در پیش‌بینی رشد و نمو گیاه، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری بود. سپس نتایج شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که بهترین عملکرد دانه در شرایطی حاصل شد که زراعت گندم هفت نوبت آبیاری با آب مصرفی ۶۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر دریافت نمود. نتایج مشابه نیز برای بهره‌وری مصرف آب به دست آمد، به طوری که بالاترین مقدار آن (به میزان ۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در همان شرایط هفت نوبت آبیاری با آب خالص مصرفی ۶۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر به دست آمد و سایر سناریوها از مقادیر کمتری برخوردار بودند.

نتیجه نهایی آن‌که، برنامه آبیاری مناسب گندم در شرایط آزمایش صرف‌نظر از اثر سال، سناریوی نه با هفت نوبت آبیاری به میزان آب مصرفی ۶۰۰ میلی‌متر در کل دوره رشد گیاه است. سناریوی ۱۰ به دلیل افزایش ۵۰ میلی‌متر در مصرف آب و در عین حال عملکرد یکسان با سناریوی نه در نظر گرفته نمی‌شود. دور مناسب آبیاری نیز پس از کاشت و جوانه‌زنی، تقریباً هر ۲۰ روز یکبار در نظر گرفته می‌شود.

در مناطق خشک و نیمه خشک (مانند شرایط این تحقیق) میزان و پراکنش بارندگی حتی در سال‌های تر به اندازه‌ای نیست که نیاز آبی گیاه را به طور کامل تامین نماید. بنابراین، تفاوت برنامه آبیاری پیشنهادی با سایر سناریوها و به خصوص مدیریت آبیاری رایج در منطقه، در دفعات آبیاری بیشتر (در واقع کوتاه کردن فواصل آبیاری‌ها) است. در این صورت انتظار می‌رود حتی در سال‌های خشک، تنش آبی شدیدی به گیاه وارد نشود. تفاوت دیگر، مصرف

(2011). این محققین بر انجام آبیاری در مراحل اولیه رشد به خصوص در سال‌های خشک در دشت خوزستان تاکید نموده‌اند. زیرا کشاورزان در این ایام به انتظار باران در انجام آبیاری تعلق می‌نمایند.

دلیل دیگر برتری سناریوهای نه و ۱۰ مصرف مقدار کافی آب است زیرا علاوه بر تامین نیاز آبی گیاه، نیاز آبشویی خاک نیز تامین می‌گردد (Kama and Tomini, 2013). چون آب به طور یکنواخت در تمام مراحل رشدی گیاه توزیع می‌گردد، خطر ایجاد زه‌آب مازاد و انتقال آن به سطح ایستابی نیز مرتفع می‌شود و این از تاثیرات غیر مستقیم برنامه‌ریزی آبیاری بر عملکرد گیاه است (با کنترل شوری خاک و سطح ایستابی، عملکرد محصول افزایش می‌یابد). وجود یک روند منطقی بین عملکرد دانه گندم و زمان، دفعات و مقدار آب آبیاری توسط Benabdelouahab et al. (2016) تایید شده است. در این تحقیق، همچنین گزارش شد که با برنامه‌ریزی مناسب آبیاری در فصل کشت گیاه، افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد گردید.

### بهره‌وری مصرف آب

شکل (۳-ب) بهره‌وری مصرف آب در سال‌های اجرای شبیه‌سازی در سناریوهای انتخابی را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، مدل برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب از نسبت عملکرد دانه به تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده (و نه آب مصرفی)، استفاده می‌نماید. نتایج حاصل حاکی از تشابه آن با نتایج عملکرد دانه است. در واقع بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایطی به دست آمد که مدیریت آبیاری سناریوهای نه و ۱۰ اعمال گردیدند. همان‌طور که از این شکل مشخص است کمترین مقدار آن (۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب) نیز به سناریوی پنج تعلق دارد. در حقیقت برنامه‌ریزی آبیاری در سناریوهای با عملکرد ضعیف به شدت تابع شرایط بارندگی می‌باشد. طبیعتاً در سال‌های خشک و نرمال روش مدیریتی خوبی برای آبیاری زراعت گندم نخواهد بود. علت برتری سناریوهای نه و ۱۰، افزایش دفعات آبیاری و توزیع مناسب میزان مصرف آب در هر نوبت آبیاری از طریق افزایش عملکرد دانه (با توجه به استدلال بیان شده در بخش عملکرد دانه) از یک طرف، و از سوی دیگر به دلیل کاهش تلفات آب در هر نوبت آبیاری، می‌باشد.

در این راستا، Andarzian et al. (2011) در تحقیق خود در خوزستان نشان داده‌اند که افزایش دفعات آبیاری گندم از دو تا سه نوبت (در روش متداول منطقه) به پنج تا شش نوبت (در روش بهبودیافته) می‌تواند سبب افزایش معنی‌داری در بهره‌وری مصرف آب، به خصوص در شرایط خشکی، شود. زیرا آب به طور یکنواخت در کل دوره رشد گیاه توزیع می‌گردد. همچنین تحقیقات این محققین نشان داد که در سال‌های خشک و نرمال، به طور معمول بهره‌وری

از منابع آب و خاک از تاثیرات مثبت کاربرد سناریوهای مدیریت آبیاری پیشنهادی خواهد بود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان، از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به نمایندگی از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به خاطر فراهم نمودن امکانات مالی و اجرایی این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

آب بیشتر در کل دوره رشد گیاه ولی با توزیع هوشمندانه در مراحل مختلف رشد با توجه به حساسیت هر مرحله است. در این روش علیرغم مصرف بیشتر آب در کل دوره رشد نسبت به روش رایج، چون در هر نوبت آبیاری حجم آب کمتری مصرف می‌شود، در مجموع از تولید زه‌آب مازاد که پیامد آن بالا آمدن سطح ایستابی و در نهایت شورشدن مجدد خاک در فاصله دو آبیاری است، جلوگیری می‌گردد. در نهایت، تولید محصول بیشتر و همچنین بهره‌وری پایدار

### References

- 1- Abi Saab, M.T., Todorovic, M., and Albrizio, R., 2014. Comparing AquaCrop and CropSyst models in simulating barley growth and yield under different water and nitrogen regimes, Does calibration year influence the performance of crop growth models?. *Agricultural Water Management*, 147, pp. 21-33.
- 2- Andarzian, ., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A. and Rahnema, A., 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100(1), pp.1-8.
- 3- Araya, A., Kisekka, I., and Holman, J., 2016. Evaluating deficit irrigation management strategies for grain sorghum using AquaCrop. *Irrigation Science*, 34, pp. 465-481.
- 4- Benabdellouahab, T., Balaghi, R., Hadria, R., Lionboui, H., Djaby, B., and Tychon, B., 2016. Testing AquaCrop to simulation a semi-arid irrigated perimeter in Morocco. *Irrigation and Drainage*, 65, pp. 631-643.
- 5- Bitri, M., Grazhdani, S., and Ahmeti, A., 2014. Validation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated potato production in environmental condition of Korca zone, south-eastern Albania. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(5), pp. 12013-12020.
- 6- Dominguez, A., Tarjuelo, J.M., de Juan, J.A., Lopez-Mata, E., Breidy, J., and Karam, F., 2011. Deficit irrigation under water stress and salinity conditions: The MOPECO-Salt model. *Agricultural Water Management*, 98, pp. 1451-1461.
- 7- Doorenbos, J., and kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage, FAO paper no. 33*, Rome, Italy.
- 8- El-Mesiry, T., Abdallah, E.F., Gaballah, M.S., and Ouda, S.A., 2007. Using yield-stress model in irrigation management for wheat grown under saline conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 1(4), pp. 600-609.
- 9- Ferjani, N., Daghari, H., and Hammami, M., 2013. Assessment of actual irrigation management in Kalaat El Andalous District (Tunisia): Impact on soil salinity and water table level. *Journal of Agricultural Science*, 5, pp. 46-56.
- 10- Fernandez-Cirelli, A., Arumi, J.L., Rivera, D., and Boochs, P.W., 2009. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid regions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69 (Suppl.1), pp. 27-40.
- 11- Gebreselassie, Y., Ayana, M., and Tadele, K., 2015. Field experimentation based simulation of yield response of maize crop to deficit irrigation using AquaCrop model, Arba Minch, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 10(4), pp. 269-280.

- 12- Jefferies, M., and Been, K., 2016. Soil variability and characteristic states, In: Soil Liquefaction: A Critical State Approach. *CRC Press, Second Edition*, pp. 203-224.
- 13- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, pp. 235-265.
- 14- Kama, A.A.L., and Tomini, A., 2013. Water conservation versus soil salinity control. *Environmental Model Assessment*, 18, pp. 647-660.
- 15- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., Mclean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, M., Silburn, E., Wang, S., Brown, K.L., Bristow, S., Asseng, S., Chapman, R.L., McCown, J.P., Freebairn, D.M., and Smith, C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18, pp. 267-288.
- 16- Liu, T., Liu, L., Luo, Y., and Lai, J., 2015. Simulation of groundwater evaporation and groundwater depth using SWAT in the irrigation district with shallow water table. *Environmental Earth Science*, 74, pp. 315-324.
- 17- Liu, J., and Pattey, E., 2010. Green Crop Tracker v.1.0. *Agriculture and Agri-Food Canada*, [GreenCropTracker@agr.gc.ca](mailto:GreenCropTracker@agr.gc.ca)
- 18- Mohammadi, M., Ghahramani, B., Davary, K., Ansari, H., Shahidi, A., and 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. *Irrigation and Drainage*, 65, pp. 112-128.
- 19- Mondal, M.S., Saleh, A.F.M., Akanda, A.R., Biswas, S.K., Moslehuddin, A.Z., Zaman, S., Lazar, A.N., and Clarke, D., 2015. Simulating yield response of rice to salinity stress with the AquaCrop model. *Environmental Sciences: Processes Impacts*, 17, pp. 1118-1126.
- 20- Nain, A.S., and Kersebaum, K.C., 2007. Calibration and validation of CERES model for simulating water and nutrients in Germany, in: Kersebaum K.C., et al. (eds), *Modeling water and nutrient dynamics in soil-crop systems*, pp. 161-181.
- 21- Qadir, M., Qureshi, A.S., and Cheraghi, S.A.M., 2007. Extent and characterization of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Degradation & Development*, 19, pp. 214-227.
- 22- Qureshi, A.S., Ahmad, W., and Ahmad, A.A., 2013. Optimum groundwater table and irrigation schedules for controlling soil salinity in Central Iraq. *Irrigation and Drainage*, 62, pp. 414-424.
- 23- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., and Fereres, E., 2015. AquaCrop new features and updates version 5.0. *FAO land and water division*, Rome, Italy.
- 24- Raes, D., 2012. The ET<sub>0</sub> Calculator v.3.2. *FAO*, <http://www.fao.org/nr/water/ET0.html>
- 25- Raes, D., Willems, P., and Gbagnuidi, F., 2006. RAINBOW a software package for analyzing climatological/hydrological data frequency analysis- test of homogeneity ver.2.2. *K.U. Leuven University*, Leuven, Belgium.
- 26- Rajabi, R., Poostini, K., Gahanipoor P., Ahmadi, A., 2000. Effects of salinity on yield decreasing and some physiological properties of 30 wheat cultivar. *Agricultural Sciences Journal*, 11 (2), pp. 153-163 (in Persian).

- 
- 27- Seeboonruang, U., 2013. Relationship between groundwater properties and soil salinity at the Lower Nam Kam River Basin in Thailand. *Environmental Earth Science*, 69, pp. 1803-1812.
- 28- Smedema, L.K., 2007. Revisiting currently applied pipe drain depths for waterlogging and salinity control of irrigated land in the (semi) arid zone. *Irrigation and Drainage*, 56, pp. 379-387.
- 29- Tavakoli, A.R., Moghadam, M.M., and Sepaskhah, A.R., 2015. Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and rainfed condition in Iran. *Agricultural Water Management*, 161, pp. 136-146.
- 30- Trombetta, A., Iacobellis, V., Tarantino, E., and Gentile, F., 2016. Calibration of the AquaCrop model for winter wheat using MODIS LAI images. *Agricultural Water Management*, 164, pp. 304-316.
- 31- Wang, X., Yang, J., Liu, G., Yao, R., and Yu, S., 2015. Impact of irrigation volume and water salinity on winter wheat productivity and soil salinity distribution. *Agricultural Water Management*, 149, pp. 44-54.
- 32- Zeleke, K.T., Lockett, D., and Cowley, R., 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. *Agronomy Journal*, 103, pp. 1610-1618.
- 33- Zhang, H., and Oweis, T., 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 38, pp. 195-211.