Research Paper

Evaluation of AquaCrop Model in Simulation of Grain Maize under Water and Fertilizer Stress under Fertigation Conditions

Seyed Kioomars Pazhoohideh[1], Aslan Egdernezhad[2*], Fariborz Abbasi [3]

M.Sc. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: a_eigder@ymail.com

Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

10.22125/IWE.2023.168172

Received:
September 23, 2021
Accepted:
February 5, 2022
Available online:
April 18, 2023

Keywords:
Furrow irrigation, Drought Stress, Water Productivity, Crop Modeling.

Abstract

The AquaCrop model is one of the most widely used crop model that has been evaluated to simulate different crops. However, its accuracy in the simultaneous use of water stress and fertilizer in furrow irrigation has not been investigated. Therefore, the present study was accomplished using two factors: the amount of crop water requirement (at four levels W1, W2, W3 and W4, respectively, 120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen fertilizer (at four levels N1, N2, N3 and N4 represent the application of 100, 80, 60 and zero percent fertilizer requirements, respectively). The required data, consisted of meteorological, soil, irrigation and nitrogen amounts, and crop characteristics, were collected in Seed and Plant Breeding Research Institute (in Karaj). Aforementioned data were used to simulate maize yield and crop water productivity. The results showed that the AquaCrop model for yield simulation (MBE = -0.15) and water efficiency (MBE = -0.32) had an overestimation error. The accuracy of this model for simulating grain yield and water productivity was 9% and 24%, respectively. With increasing water and fertilizer stress, the accuracy of the AquaCrop model for yield simulation decreased. The efficiency of the AquaCrop in simulating grain yield (EF = 0.92) and water productivity (EF = 0.47) was very favorable. Applying of the model in similar conditions is recommended for future studies.

Introduction

Corn is one of the most important crops that is cultivated mainly in the country. Due to the fact that paying attention to the amount of water and nitrogen fertilizer is effective in its growth and yield, it is necessary to determine the response of this crop to the amount of these inputs in any climate. Due to the high cost of field trials, it is best to use crop models such as AquaCrop. The AquaCrop model is one of the most widely used crop models that has been evaluated to simulate different crops. However, its accuracy in the simultaneous use of water and fertilizer stress in the fertigation system has not been investigated so far.

Materials and Methods

Therefore, the present study was conducted in two cropping years (2010-2011) in a research farm located at 50.58° East longitude and 35.56° N and 1312m above sea level. In this study, double cross 370 hybrid corns were examined. For this purpose, the seeds with a density of 85,000 plants per hectare were planted in late June each year. The furrow irrigation method was used to meet the water requirement and nitrogen fertilizer. Five furrows were considered for each treatment. The treatments used in this study include the amount of irrigation water (in four levels, W2, W3 and W4, represented 120, 100, 80 and 60% of water requirement,

* **Corresponding Author:** Aslan Egdernezhad
Address: Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Email: a_eigder@ymail.com
Tel: 09163111269

respectively) and nitrogen fertilizer (in four levels N1, N2, N3 and N4 It represented 100, 80, 60 and zero percent of fertilizer requirements, respectively). Irrigation treatments were applied 5 days after planting. The water requirement of each treatment was determined based on the rate of evaporation from the Class A pan and meteorological data collected from the meteorological station near the site. The inlet and outlet flow of each furrow were measured using a WSC meter and flume, respectively. First, the AquaCrop model was calibrated using first year data. Then, using the data of the second year, this plant model was validated.

Results

The average yield of corn in the second year of cultivation was lower than the first year. Water use efficiency was almost the same for both cropping years. The minimum and maximum differences between the observed and simulated yield in the validation stage were 0.01 and 0.34 ton.ha^{-1}, respectively. The average difference between observed and simulated yield was 0.09 ton.ha^{-1}. The minimum, maximum and average differences between the observed and simulated water use efficiency were 0.09, 0.43 and 0.23 kg.m-3, respectively. In N1 fertilizer treatment, the maximum and minimum differences between the observed and simulated yields were 1.7 and 0.7%, respectively. These results are equal to 3.4% and 20% for N2 fertilizer treatment, 3.5% and 15.9% for N3 fertilizer treatment and 5.4% and 33.4% for N4 fertilizer treatment, respectively. Therefore, with increasing fertilizer stress, the difference between the observed and simulated values increased. The results showed that the AquaCrop model for yield simulating (MBE= -0.15) and water use efficiency (MBE=-0.32) had an overestimation error. The accuracy of this crop model for simulating grain yield and water use efficiency was 9% and 24%, respectively.

Discussion and Conclusion

The results showed that the AquaCrop model had a low estimation error in both calibration and validation stages. Comparison of yield and water consumption efficiency showed that the AquaCrop model was more accurate than water consumption efficiency for simulating grain yield. Also, the accuracy of this plant model for simulating performance was better than water consumption efficiency. With increasing water and fertilizer stress, the accuracy of AquaCrop model for yield simulation decreased but no regular changes in water use efficiency simulation were observed. The efficiency of AquaCrop model in simulating grain yield (EF =0.92) and water use efficiency (EF=0.47) was very good. According to these results, the use of this crop model in similar conditions is recommended.

Six important references

1) Guo, D., Zhao, R., Xing, X., Ma, X. 2020. Global sensitivity and uncertainty analysis of the AquaCrop model for maize under different irrigation and fertilizer management conditions. Agronomy and Soil Science. 66(8): 1115-1133.

2) Katerji N., Campi P and Mastrorilli M. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. Agricultural Water Management. 130: 14-26.

3) Malik A., Shakir A. S., Ajmal M., Jamal Khan, M. and Ali Kan, T. 2017. 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.

4) Masanganise, J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., and Mhizha, T. 2013. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. International Journal of Agricultural and Food Science. 3(4): 157-163.

5) Stricevic R., Cosic M., Djurovic N., Pejic, B. and Maksimovic, L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. Agricultural Water Management. 98: 1615-1621.

6) Van Gaelen,H., Tsegay,A., Delbecque,N., Shrestha,N., Garcia,M., Fajardo,H., Miranda, R., Vanuytrecht,E., Abrha,B., Diels,J and Raes,D. 2014. Asemi-quantitative approach for modelling crop response to soil fertility: evaluation of the Aqua crop procedure. Journal of Agricultural Science. 1–16.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و یک . بهار ۱۴۰۲

ارزیابی مزرعه‌ای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت دانه‌ای در شرایط تنش آبی و کودی

سید کیومرث پژوهیده[۱]، اصلان اگدرنژاد[۲*]، فریبرز عباسی[۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۰۷/۰۱
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۱/۱۶

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی

چکیده

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی پرکاربرد است که برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. با این وجود دقت آن در شرایط استفاده همزمان تنش آبی و کودی در آبیاری جویچه‌ای تاکنون بررسی نشده است. از این رو، تحقیق حاضر با استفاده از دو فاکتور مقدار آب آبیاری (در چهار سطح W1، W2، W3 و W4 به‌ترتیب نشان دهنده تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و کود نیتروژن (در چهار سطح N1، N2، N3 و N4 به ترتیب نشان دهنده تأمین ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و صفر درصد نیاز کودی) اجرا شد. داده‌های مورد نیاز شامل اطلاعات هواشناسی، خاک، مدیریت آبیاری و کود نیتروژن و عوامل گیاهی مورد نیاز این پژوهش از آزمایش انجام شده در مزرعهٔ ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج برداشت شد. با استفاده از این داده‌ها، عملکرد و بهره‌وری آب ذرت شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد (MBE=-0.15) و بهره وری آب (MBE=-0.32) دچار خطای بیش‌برآوردی شد. دقت این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و بهره وری آب به‌ترتیب برابر با ۹ و ۲۴ درصد بود. با افزایش تنش آبی و کودی، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کاهش یافت. همچنین کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه (EF=0.92) و بهره وری آب (EF=0.47) بسیار مطلوب بود. با توجه به این نتایج، استفاده از این مدل گیاهی در شرایط مشابه پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، تنش خشکی، بهره‌وری آب، مدل‌سازی گیاهی.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: kiumars_pa@yahoo.com ، تلفن تماس: ۰۹۱۶۶۴۱۵۴۰۶

[۲] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: a_eigder@ymail.com ، تلفن تماس: ۰۹۱۶۳۱۱۱۲۶۹(مسئول مکاتبات)

[۳] استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. پست الکترونیک: fariborzabbasi@ymail.com ، تلفن تماس: ۰۹۱۲۵۶۰۳۴۳۸

مقدمه

ذرت به عنوان یکی از مهم‌ترین غلات جهان، به لحاظ چهارکربنه بودن و گرماپسندی، با مناطق خشک و نیمه‌خشک سازگاری خوبی دارد (دی‌خوان والرو، ۲۰۰۵). گرچه با افزایش آب آبیاری و استفاده از کود نیتروژن مقدار عملکرد گیاهان زراعی افزایش می‌یابد (آرایا و همکاران، ۲۰۱۰)؛ لیکن برخی محققان پیشنهاد کرده‌اند که مقدار نیتروژن در حد بهینه در دسترس گیاهان زراعی قرار گیرد تا آلودگی محیط زیست به حداقل برسد (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به اثرات تغییرات اقلیم و کاهش آب در دسترس، استفاده بهینه از مقدار آب آبیاری نیز می‌بایست مد نظر قرار گیرد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۴). از این رو لازم است واکنش گیاه ذرت تحت مقادیر مختلف آب و کود نیتروژن برای هر منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به اینکه انجام آزمایش‌های متعدد نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است؛ مدل‌های گیاهی به عنوان ابزار مناسبی برای این کار در دسترس محققان قرار داده شده است (گیرتس و رائس، ۲۰۰۹). مدل AuqaCrop به دلیل سادگی، داده‌های ورودی کم، کاربرپسند بودن، دقت بالا و نزدیکی قابل قبول شرایط مدل‌سازی با مدیریت مزرعه در شرایط واقعی (کاترجی و همکاران، ۲۰۱۳) مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. این مدل گیاهی که توسط سازمان خواروبار کشاورزی (فائو) ارائه شده است؛ مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. به عنوان مثال، آرایا و همکاران (۲۰۱۰) از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی جو استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که دقت مدل AquaCrop قابل قبول بود و می‌توان به نتایج به دست آمده از آن اعتماد کرد. از جمله سایر تحقیقات می‌توان به مطالعات انجام شده روی ذرت، کلزا و نیشکر اشاره کرد. این مطالعات به ترتیب توسط تحقیقات استریسویچ و همکاران (۲۰۱۱)، ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) و محمدی‌معله‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) منتشر شده‌اند.

با توجه به اهمیت گیاه ذرت، این گیاه زراعی در پایگاه داده مدل AquaCrop قرار داده شده است. از این رو، توجه بسیاری از محققان به استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آن بوده است. از جمله نخستین تحقیقات انجام شده در این خصوص می‌توان به مطالعات هنگ و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد. این محققان عملکرد و زیست‌توده ذرت را تحت تنش آبی شبیه‌سازی کردند. ایشان گزارش کردند که با افزایش تنش آبی، دقت مدل AquaCrop کاهش یافت. نتایج آزمایش رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۳) در ارزیابی و واسنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری در منطقه قزوین نشان داد که این مدل توانایی قابل قبولی در شبیه سازی عملکرد داشت. از جمله سایر تحقیقات انجام شده روی گیاه ذرت با استفاده از مدل AquaCrop می‌توان به تحقیقات هسیائو و همکاران (۲۰۰۹)، ماسانگانیس و همکاران (۲۰۱۳) و کاترجی و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. این محققان به ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط اقلیمی و تنش آبی مختلف پرداختند و گزارش کردند که دقت و کارایی آن برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت قابل قبول بود. با توجه به قابلیت‌های مدل AquaCrop، برخی محققان به ارزیابی آن برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت شرایط استفاده از آب شور پرداختند. حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی مدل AquaCrop در تخمین عملکرد ذرت در منطقه کرج با کاربرد تیمارهای مختلف آب شور و شیرین پرداختند و کاربرد این مدل را در پیش‌بینی عملکرد ذرت مناسب ارزیابی کردند. در مطالعه‌ای دیگر، مهرآذر و همکاران (۱۳۹۵) مدل AquaCrop را در شرایط تنش شوری بررسی کردند. این محققان نشان دادند که این مدل در پیش بینی عملکرد ذرت تحت تاثیر تنش شوری نسبت به عملکرد اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه دچار حداکثر خطای بیش‌برآورد به میزان ۲۱/۷۹ درصد شد. همچنین در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش تنش شوری دقت مدل AquaCrop کاهش یافت و اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده افزایش نشان داد. در تحقیقی، این مدل توسط فان گائلن و همکاران (۲۰۱۴) برای شبیه‌سازی مقدار کود بر عملکرد گیاهان

ذرت، گندم، تف و کینوآ بررسی مورد ارزیابی قرار گرفت. این محققان نشان دادند که مدل AquaCrop دقت مطلوبی داشت. سایر محققان از جمله آکوگاما و همکاران (۲۰۱۷) و رنجبر و همکاران (۱۳۹۵) برای کشت ذرت تحت شرایط مختلف کودی از مدل AquaCrop استفاده کردند و دقت این مدل را خوب گزارش کردند. امیروشه و همکاران (۲۰۲۱) به واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد کاهو تحت شرایط تنش کودی پرداختند. این محققان از تیمارهای کودی صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم بر هکتار استفاده کردند. نتایج آماره‌های R^2 بین ۰/۹۸-۰/۹۲، NRMSE بین ۳۴-۲۱ درصد و d بین ۰/۹۶-۰/۹۱ بود. به همین دلیل این محققان دقت و کارایی مدل AquaCrop را تأیید کردند. ژو و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی و بررسی حساسیت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت تحت دو تنش آبی و کودی پرداختند. این محققان نشان دادند که مدل AquaCrop در شرایط تنش کودی حساسیت بیشتری نسبت تنش آبی داشت.

با توجه به اینکه مدل AquaCrop توانایی شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی در سیستم‌های مختلف آبیاری را دارد؛ لیکن توجه محققان به این موضوع کمتر بوده است. آبیاری جویچه‌ای یکی از روش‌های آبیاری مرسوم برای کشت ذرت در کشور ما است که استفاده از آن برای ارزیابی مدل AquaCrop کمتر مورد توجه بوده است. علت آن را می‌توان به فضای محدود برای ایجاد کرت‌های آزمایشی در موسسات یا دانشگاه‌ها دانست. به همین دلیل شرایط ایجاد مزرعه واقعی برای محققان فراهم نبوده است. با این وجود وطن‌خواه و ابراهیمیان (۱۳۹۵) با ایجاد جویچه‌هایی به طول ۵۱ متر و اعمال تنش‌های آبی صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به ارزیابی مدل AquaCrop پرداختند. این محققان گزارش کردند که دقت این مدل گیاهی براساس آماره NRMSE در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۱۰ و ۳۴ درصد بود. رنجبر و همکاران (۱۳۹۶) با ایجاد فضای ۲۵ مترمربعی به بررسی دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده ذرت تحت تنش‌های کودی نیتروژن پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که براساس آماره RMSE دقت این مدل گیاهی بین ۶ تا ۳۳ درصد متغیر بود. بنابراین براساس مرور منابع، ارزیابی مدل AquaCrop تحت تنش‌های همزمان کودی و آبی در شرایط آبیاری جویچه‌ای کمتر مورد توجه محققان بوده است. با توجه به این موضوع، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و بهره وری آب ذرت دانه‌ای در آبیاری جویچه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای

این تحقیق در دو سال زراعی در مزرعهٔ ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در شهرستان کرج انجام شد (عباسی و چوگان، ۱۳۹۰). این مزرعه در طول جغرافیایی ۵۰/۵۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵/۵۶ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متری از سطح دریا قرار دارد. در این تحقیق، واکنش ذرت دانه‌ای نوع هیبرید دابل کراس ۳۷۰[1] تحت دو فاکتور مقدار آب آبیاری (در چهار سطح W1، W2، W3 و W4 به‌ترتیب نشان دهنده تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و کود نیتروژن (در چهار سطح N1، N2، N3 و N4 به‌ترتیب نشان دهنده تأمین ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و صفر درصد نیاز کودی) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، بذرهای مورد نظر با تراکم ۸۵ هزار بوته در هکتار در در اواخر خرداد در هر سال کاشته شدند. روش آبیاری جویچه‌ای برای تأمین نیاز آبی و کود نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت. پنج جویچه با طول ۱۶۵ متر و فاصله ۷۵ سانتی‌متر از همدیگر برای هر تیمار در نظر گرفته شد. سه جویچه میانی برای برداشت محصول و دو جویچه کناری برای اثر حاشیه‌ای منظور شدند. اعمال تیمارهای آبیاری ۵ روز پس از کاشت انجام شد. نیاز آبی هر تیمار براساس تعیین میزان تبخیر از تشت کلاس A و با برداشت داده‌های هواشناسی برداشت شده از ایستگاه هواشناسی شهرستان کرج انجام تعیین شد. دبی ورودی و خروجی از هر جویچه به‌ترتیب با استفاده از کنتور و فلوم WSC اندازه‌گیری می‌شد. برای

[1] KDC 370

ترزیق کود به جویچه‌ها از بشکه‌های بزرگ ۲۲۰ لیتری استفاده گردید. محلول کود از طریق بشکه بزرگ وارد بشکه کوچکتری (۲۰ لیتری) می‌شد. در بشکه کوچک، شناوری برای ثابت نگه‌داشتن دبی تزریق کود نصب گردید. به منظور یکنواختی توزیع بیشتر، ،تزریق کود در ۲۰-۳۰ دقیقه انتهای آبیاری انجام می‌شد.

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه شده (رابطه ۱) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند. تفکیک این مولفه به دو جز تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می‌شود تا مصرف غیر تولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۲).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۱)$$

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (۲)$$

در این روابط، Yx و Ya به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ETx و ETa به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و Ky ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (۳)$$

در این رابطه، CC0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. با تعیین تعرق و تبخیر-تعرق، بیوماس خشک نیز طبق رابطه (۴) برآورد می‌گردد:

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}}\right] \quad (۴)$$

در این رابطه، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب نرمال شده، ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد (Y) نیز با استفاده از ماده‌ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$Y = B \times HI \quad (۵)$$

در این رابطه، Y عملکرد، HI شاخص برداشت و B بیوماس خشک است. در این مدل، شدت تنش آبی (Ks) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. در واقع در صورت تنش آبی میزان تاج پوشش گیاهی کاهش یافته و به تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد. این مدل به جای استفاده از بیلان کودی در خاک، اثر مقدار تنش حاصلخیزی بر عملکرد را با استفاده از کمبود مواد غذایی در خاک شبیه‌سازی می‌کند. این عمل با فرض پارامتر بیشینه نسبی مقدار زیست‌توده خشک (B_{rel}) بر حسب درصد با توجه به رابطه (۶) انجام می‌شود.

$$B_{rel} = \frac{B_{stress}}{B_{ref}} \times 100 \quad (۶)$$

که در این رابطه، B_{ref} کل زیست‌توده خشک در شرایط بدون تنش و B_{stress} مقدار زیست‌توده به دست آمده پس از اعمال تنش است.

داده‌های ورودی مدل AquaCrop

داده‌های مورد استفاده در این مدل در چهار گروه داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه دسته‌بندی می‌شوند. در این تحقیق، هر گروه از داده‌های براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا داده‌های موجود به مدل معرفی شدند. به همین دلیل داده‌های مورد نیاز برای مدل AquaCrop به سه دسته اندازه‌گیری شده، پیش‌فرض و واسنجی تقسیم می‌شود. در جدول (۱) برخی از داده‌های ورودی به این مدل آورده شده است.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای ورودی به مدل AquaCrop

توضیح عامل	مقدار	واحد	توضیح
دمای پایه	۸	درجه‌سانتی‌گراد	پیش‌فرض
دمای بالا	۳۰	درجه سانتی‌گراد	پیش‌فرض
تراکم کشت	۸۵۰۰۰	گیاه در هکتار	اندازه‌گیری
ضریب رشد کانوپی	۱۴/۵	درصد روز	واسنجی
پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی	۰/۵۹	سانتی‌متر مربع	واسنجی
ظرفیت زراعی خاک	۳۱	درصد حجمی	اندازه‌گیری
نقطه پژمردگی دائم خاک	۱۵	درصد حجمی	اندازه‌گیری
رطوبت اشباع خاک	۴۶	درصد	پیش‌فرض
مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی	۵	روز	واسنجی
مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی	۶۰	روز	واسنجی
مدت زمان کاشت تا دوره پیری	۱۱۰	روز	واسنجی
مدت زمان کاشت تا برداشت محصول	۱۲۵	روز	واسنجی
بهره‌وری آب نرمال شده	۳۴/۷	گرم بر متر مربع	واسنجی
بیشینه رشد کانوپی	۹۶	درصد	پیش‌فرض
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/۱۴	-	پیش‌فرض
حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه	۰/۷۲	-	پیش‌فرض
حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق	۱/۰۵	درصد بر روز	پیش‌فرض
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه‌ها	۰/۶۵	-	واسنجی
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری	۰/۶۵	-	واسنجی
ضریب کاهش توسعه پوشش*	درصد	۴۰	واسنجی
ضریب حداکثر پوشش*	درصد	۳۸	واسنجی
ضریب متوسط کاهش*	درصد بر روز	۰/۲۹	واسنجی
ضریب درصد کاهش بهره‌وری آب نرمال شده*	درصد	۲۴	واسنجی

* این پارامترها برای در نظر گرفتن تنش کودی مورد واسنجی قرار گرفتند.

ارزیابی مدل

با توجه به اینکه داده‌های برداشت شده در دو سال زراعی برداشت شدند، برای واسنجی مدل AquaCrop از داده‌های عملکرد و بهره‌وری آب در سال اول و برای صحت‌سنجی آن از داده‌های اشاره شده در سال دوم استفاده شد. برای ارزیابی مدل AquaCrop در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R2) استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۷) تا (۱۲) نشان داده شده‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). در مرحله واسنجی، شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب تا زمانی ادامه یافت که کمترین مقدار برای RMSE، NRMSE، MBE و بیشترین مقدار برای EF، d و R^2 به دست آمد. با تعیین مقادیر پارامترهای مورد نیاز برای واسنجی (جدول ۱)، صحت‌سنجی انجام شد. در مرحله صحت‌سنجی نتایج به دست آمده از اولین شبیه‌سازی برای هر کدام از آماره‌های زیر گزارش شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \quad (۸)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (۹)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۰)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \quad (۱۱)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum(P_i - \overline{P})^2 \sum(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۲)$$

در معادله‌های فوق P_i مقدار شبیه‌سازی شده نفوذ، O_i مقدار اندازه‌گیری شده نفوذ، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده نفوذ، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ و n برابر تعداد تیمارها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان دهنده این است که مدل AquaCrop مقدار پارامتر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که این مدل‌ها در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار EF نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد

نتایج و بحث

مرحله واسنجی

مقادیر عملکرد ذرت دانه‌ای در مرحله واسنجی در جدول (۲) نشان داده شده است. متوسط عملکرد مشاهداتی (۱۰/۲ تن در هکتار) است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار عملکرد مشاهداتی در نه تیمار بیشتر از متوسط عملکرد بود. نتایج مشابه برای بهره‌وری آب در مرحله واسنجی در جدول (۲) نشان داده شده است. در ده تیمار، مقدار بهره وری آب از متوسط آن (۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر بود. نتایج همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای عملکرد و بهره‌وری آب در جدول (۳) نشان داده شده است. ضریب تبیین برای این دو پارامتر به ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۸۸ بود. بنابراین مدل AquaCrop به خوبی توانست تغییرات این دو پارامتر را شبیه‌سازی کند. سایر نتایج آماری برای مرحله واسنجی در جدول (۲) نشان داده شده است. براساس مقادیر MBE، مدل AquaCrop در شبیه‌سازی هر دو پارامتر دچار خطای کم‌برآوردی ۰/۸۵ تن بر هکتار و ۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب شد. خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی دو پارامتر مذکور به ترتیب در دسته‌های خوب و متوسط قرار داشت. کارایی این مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی این دو پارامتر قابل قبول بود.

جدول (۲): مقایسه عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در مرحله واسنجی

تیمار	عملکرد (تن بر هکتار)		خطا (درصد)	بهره‌وری آب		خطا (درصد)
	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده		مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	
W1N1	۱۱/۵	۱۱/۸	-۳	۱/۳	۰/۹	۲۵
W2N1	۱۶/۶	۱۳/۲	۲۰	۲/۲	۱/۷	۲۳
W3N1	۱۴/۴	۱۲/۹	۱۰	۲/۳	۱/۸	۲۲
W4N1	۹/۱	۸/۷	۴	۱/۷	۱/۴	۱۸
W1N2	۱۲/۳	۱۱/۵	۷	۱/۴	۰/۹	۲۹
W2N2	۱۳/۴	۱۲/۶	۶	۱/۸	۱/۵	۱۷
W3N2	۱۳/۸	۱۲/۲	۱۲	۲/۱	۱/۷	۱۹
W4N2	۱۱/۴	۷/۱	۳۸	۱/۶	۱/۲	۲۴
W1N3	۷/۵	۱۰/۵	-۴۰	۰/۸	۰/۸	-۵
W2N3	۱۱/۴	۱۰/۹	۴	۱/۵	۱/۱	۲۲
W3N3	۱۱/۱	۷/۹	۲۹	۱/۷	۰/۹	۴۲
W4N3	۹/۰	۶/۹	۲۳	۱/۷	۱/۱	۳۱
W1N4	۷/۴	۶/۷	۹	۰/۸	۰/۵	۳۳
W2N4	۴/۷	۷/۱	-۵۱	۰/۶	۰/۶	-۱۵
W3N4	۵/۶	۵/۹	-۵	۰/۹	۰/۷	۲۲
W4N4	۵/۴	۵/۱	۶	۰/۶	۰/۷	-۲۰

جدول (۳): مقادیر آماره‌ها برای دو پارامتر عملکرد و بهره وری آب بهره وری آب در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

مرحله	پارامتر	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d	R^2
واسنجی	عملکرد (تن در هکتار)	-۰/۸۵	۲/۰۴	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۹۹	۰/۸۳
	بهره وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	-۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۹۸	۰/۸۸
صحت‌سنجی	عملکرد (تن در هکتار)	-۰/۱۵	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۲
	بهره وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	-۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۹۸	۰/۹۴

مرحله صحت‌سنجی

نتایج مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد و بهره وری آب در مرحله صحت‌سنجی در جدول (۳) نشان داده شده است. عملکرد ۸ تیمار و بهره وری آب ۱۱ تیمار بیشتر از متوسط مقادیر آن‌ها بود. متوسط عملکرد ذرت دانه‌ای (۹/۱ تن در هکتار) در سال دوم کشت کمتر از سال اول بود. بهره وری آب برای هر دو سال زراعی تقریباً یکسان و ۱/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. حداقل و حداکثر اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۰۱ و ۰/۳۴ تن در هکتار بود. متوسط اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برابر با ۰/۰۹ تن در هکتار بود. حداقل، حداکثر و متوسط اختلاف بین بهره وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب برابر با ۰/۰۹، ۰/۴۳ و ۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. همبستگی بین عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در جدول (۳) نشان داده شده است. ضریب تبیین برای این دو پارامتر به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۹۴ بود. این نتایج نشان داد که توانایی مدل AquaCrop در پیروی از تغییرات مقادیر مشاهداتی عالی بود. مدل AquaCrop در برآورد هر دو

پارامتر عملکرد و بهره‌وری آب دچار خطای کم‌برآوردی شد. براساس مقادیر به دست آمده برای برای عملکرد، مقدار عملکرد مشاهداتی در اکثر موارد بزرگتر از عملکرد شبیه‌سازی شده است. معادله به دست آمده از برازش رگرسیون برای بهره‌وری آب نیز نشان داد که برای شرایطی که بهره‌وری آب مشاهداتی کمتر از ۰/۰۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب باشد این مدل دچار خطای بیش‌برآوردی می‌گردد. که در شرایط واقعی این ممکن نیست. این نتایج براساس مقادیر MBE در جدول (۲) نیز تأیید می‌شود.

در تیمارهای کودی یکسان، افزایش تنش آبی سبب کاهش دقت مدل AquaCrop شد. این نتایج با مشاهدات بسیاری از محققان مانند ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) و اگدرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت داشت. این محققان نیز کاهش دقت مدل AquaCrop در تنش‌های آبی شدید را گزارش کردند. براساس آماره RMSE، خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد برابر با ۰/۸۹ تن در هکتار بود. با توجه به آماره NRMSE، دقت این مدل گیاهی در دسته عالی قرار داشت. خطای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی بهره‌وری آب برابر با ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با این وجود دقت این مدل برای شبیه‌سازی بهره وری آب در دسته متوسط قرار داشت. این نتایج با مشاهدات محمدی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت. این محققان نیز دقت مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد بیشتر از بهره‌وری آب بیان کردند. کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی هر دو پارامتر در محدوده ی قابل قبول بود.

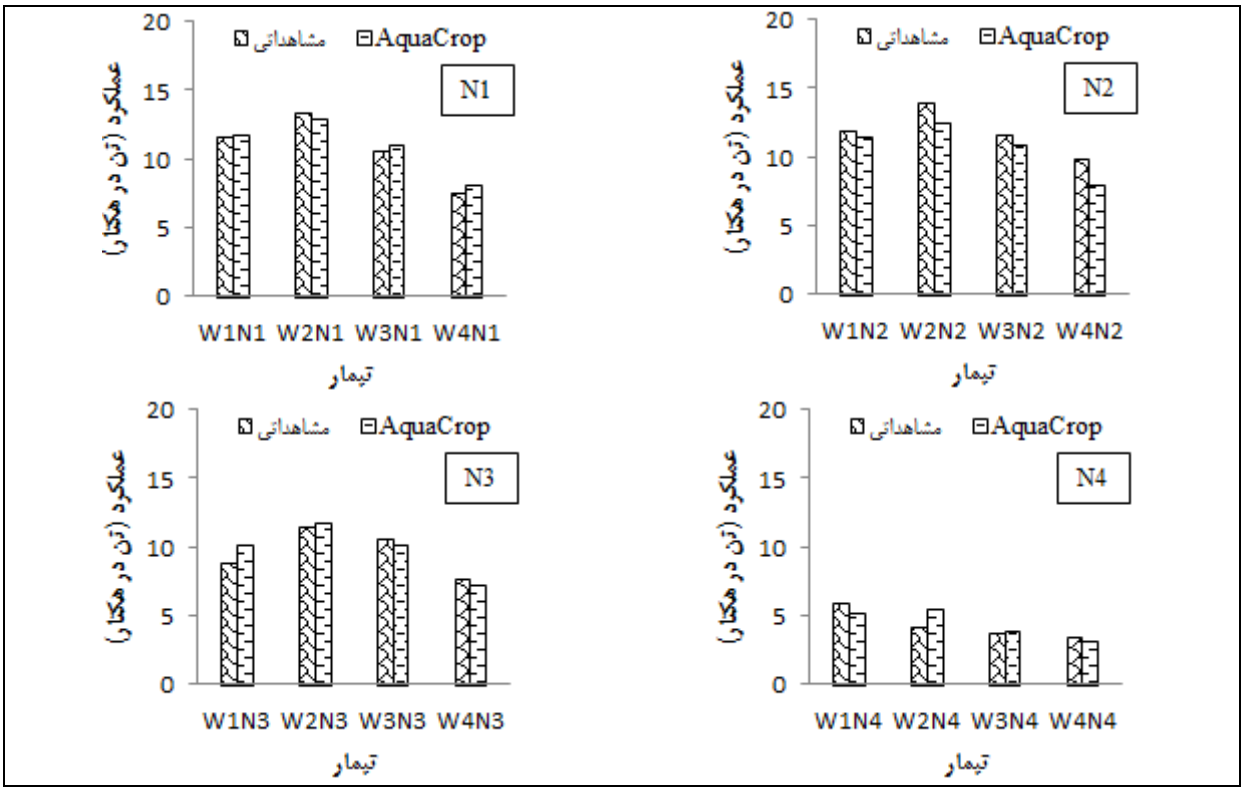
استریسویج و همکاران (۲۰۱۱) و مالک و همکاران (۲۰۱۷) نیز در شبیه‌سازی گیاهان زراعی با مدل AquaCrop، مقدار ۰/۹ را برای آماره d گزارش کردند که با نتایج تحقیق حاضر هم خوانی دارد.

جدول (۴): مقایسه عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در مرحله واسنجی

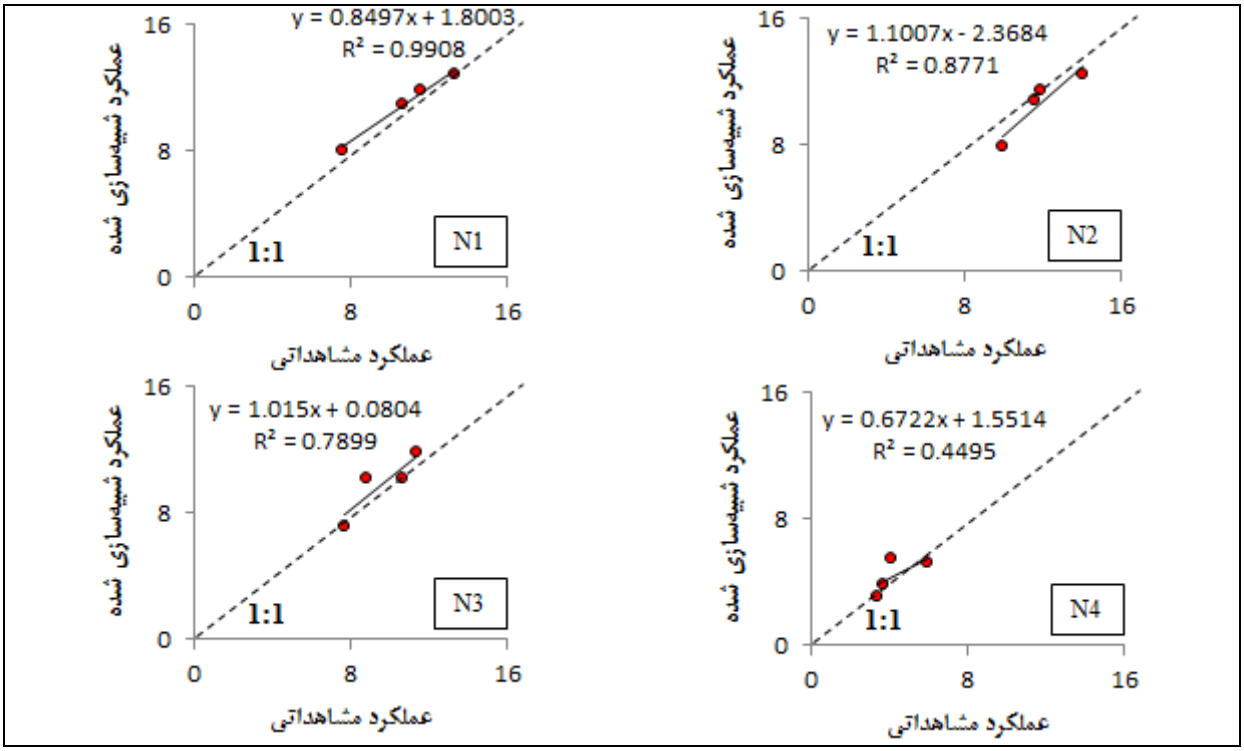
تیمار	عملکرد (تن بر هکتار)		خطا (درصد)	بهره‌وری آب		خطا (درصد)
	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده		مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	
W1N1	۱۱/۶	۱۱/۸	-۲	۱/۴	۱/۱	۲۲
W2N1	۱۳/۳	۱۲/۹	۳	۱/۹	۱/۴	۲۳
W3N1	۱۰/۶	۱۱/۰	۴	۱/۷	۱/۴	۱۹
W4N1	۷/۵	۸/۱	۷	۱/۵	۱/۳	۱۳
W1N2	۱۱/۹	۱۱/۵	۳	۱/۵	۱/۱	۲۵
W2N2	۱۴/۰	۱۲/۵	۱۱	۲/۰	۱/۴	۲۸
W3N2	۱۱/۶	۱۰/۸	۷	۱/۹	۱/۵	۲۲
W4N2	۹/۹	۷/۹	۲۰	۲/۰	۱/۳	۳۳
W1N3	۸/۸	۱۰/۲	-۱۶	۱/۱	۰/۹	۱۷
W2N3	۱۱/۴	۱۱/۸	-۴	۱/۶	۱/۳	۱۷
W3N3	۱۰/۶	۱۰/۲	۴	۱/۷	۱/۳	۲۴
W4N3	۷/۷	۷/۲	۶	۱/۶	۱/۳	۱۷
W1N4	۵/۹	۵/۲	۱۲	۰/۷	۰/۴	۴۳
W2N4	۴/۱	۵/۵	-۳۴	۰/۶	۰/۵	۱۰
W3N4	۳/۷	۳/۹	-۵	۰/۶	۰/۴	۳۰
W4N4	۳/۴	۳/۱	۹	۰/۷	۰/۴	۳۱

تفکیک نتایج براساس تنش کودی

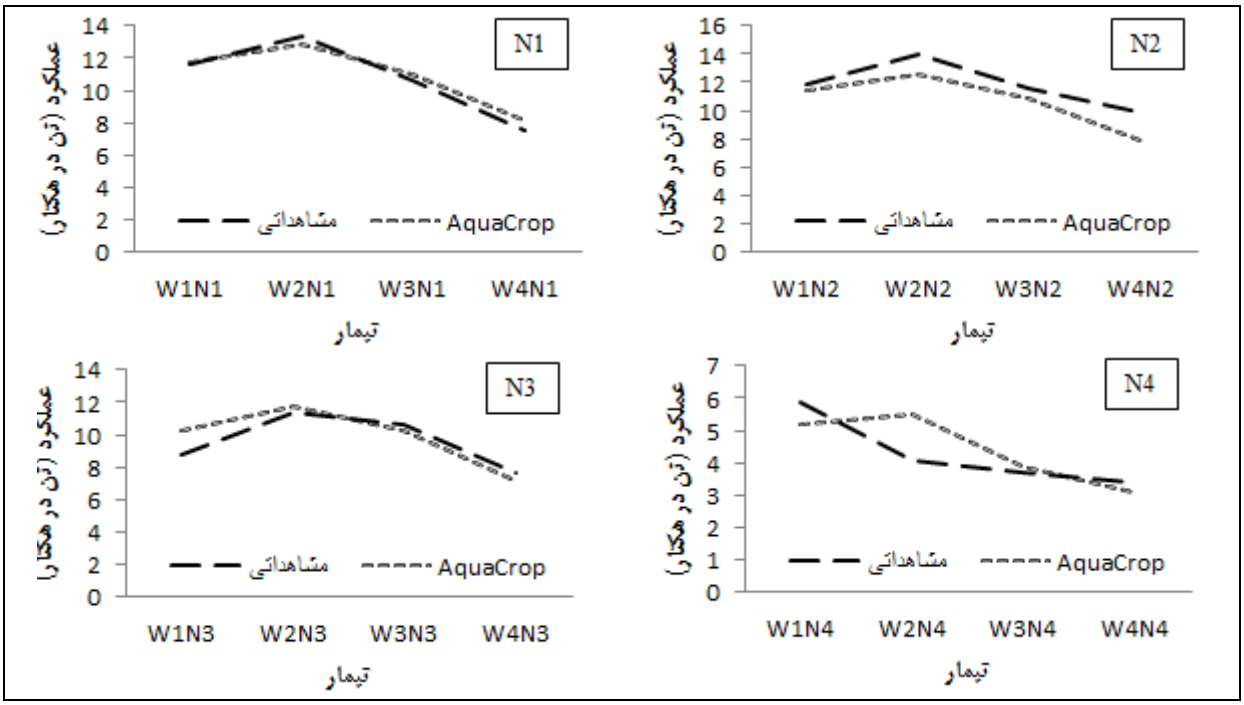
نتایج به دست آمده برای عملکرد دانه ذرت به تفکیک تنش کودی در شکل (۱) نشان داده شده است. در تیمار کودی N1، حداکثر و حداقل اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۱/۷ و ۰/۷ درصد بود. این نتایج برای تیمار کودی N2 به ترتیب برابر با ۳/۴ و ۲۰ درصد، برای تیمار کودی N3 به ترتیب برابر با ۳/۵ و ۱۵/۹ درصد و برای تیمار کودی N4 به ترتیب برابر با ۵/۴ و ۳۳/۴ درصد بود. بنابراین مشاهده می‌شود که با افزایش تنش کودی، اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده افزایش یافت. این نتایج با مشاهدات امیروشه و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت. این محققان نیز مقدار خطای مدل AquaCrop در شرایط تنش کودی را بین ۳۴-۲۱ درصد گزارش کردند. بنابراین دقت شبیه‌سازی در تحقیق حاضر بهتر از مطالعه امیروشه و همکاران (۲۰۲۱) بود. همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه ذرت در تیمارهای کودی مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است. با افزایش تنش کودی، ضریب تبیین نیز کاهش یافت. علت این نتایج را در شکل (۳) می‌توان مشاهده کرد. در تیمار N1، روند تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده بسیار مشابه مقادیر مشاهداتی است. این نتایج تقریباً در تیمارهای N2 و N3 نیز مشاهده می‌شود. لیکن در تیمار N4، روند منظمی مشاهده نشد. در این تیمار هیچ کودی مصرف نشد، بنابراین مدل AquaCrop نتوانست به خوبی از تغییرات عملکرد مشاهداتی پیروی کند. این نتایج در تحقیقات رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹) نیز گزارش شده است ولی علت دقیقی برای آن ذکر نشده است. احتمالاً چون مقدار عملکرد ذرت در شرایط بدون کود به شدت نسبت به شرایط تأمین کود کاهش یافت، اختلاف بیشتری بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در این تیمار مشاهده شد. در تیمار N4، تغییرات عملکرد به صورت هلالی و مشابه تغییرات در سایر تیمارها بود. در حالی که عملکرد مشاهداتی از این روند تبعیت نمی‌کرد.



شکل (۱): مقایسه عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به تفکیک تیمارهای کودی در مرحله صحت‌سنجی



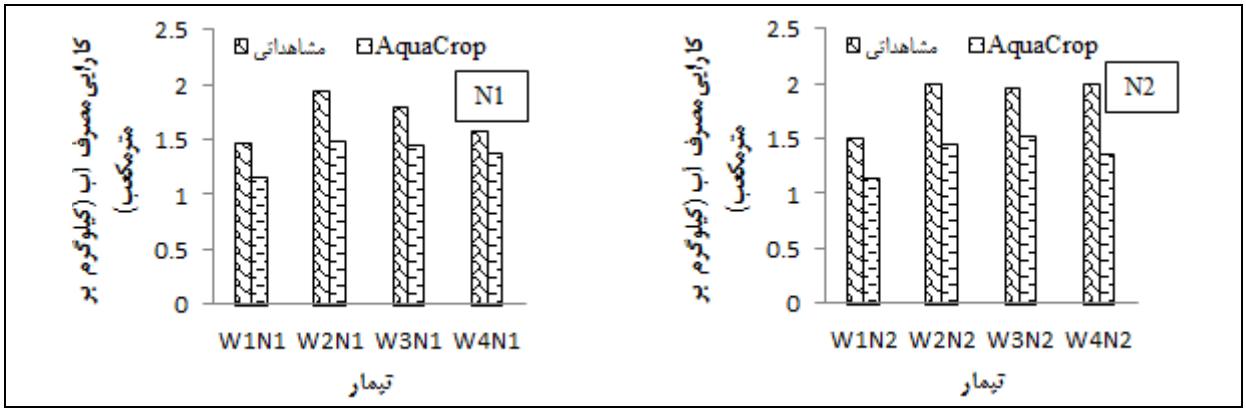
شکل (۲): همبستگی بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به تفکیک تیمارهای کودی در مرحله صحت‌سنجی

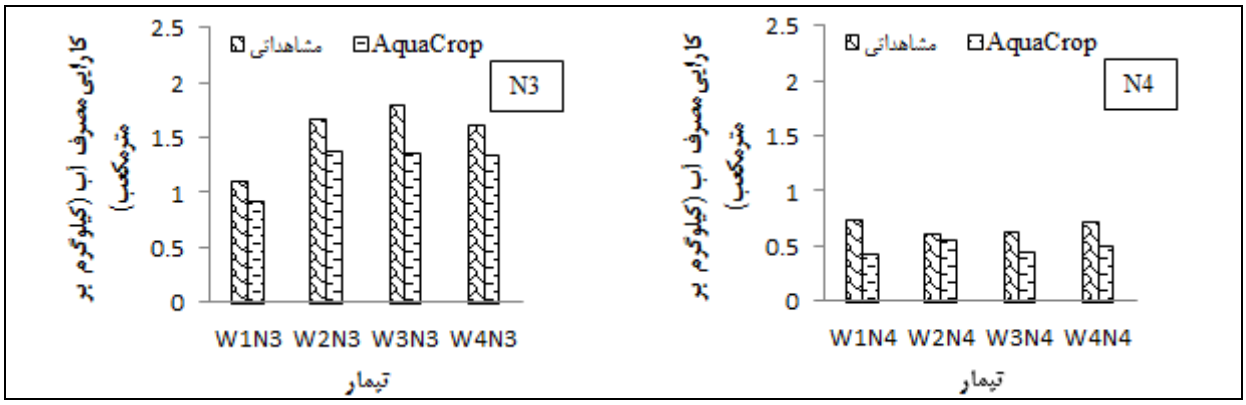


شکل (۳): رابطه بین مقادیر مختلف عملکرد در تنش‌های آبی به تفکیک تیمارهای کودی در مرحله صحت‌سنجی

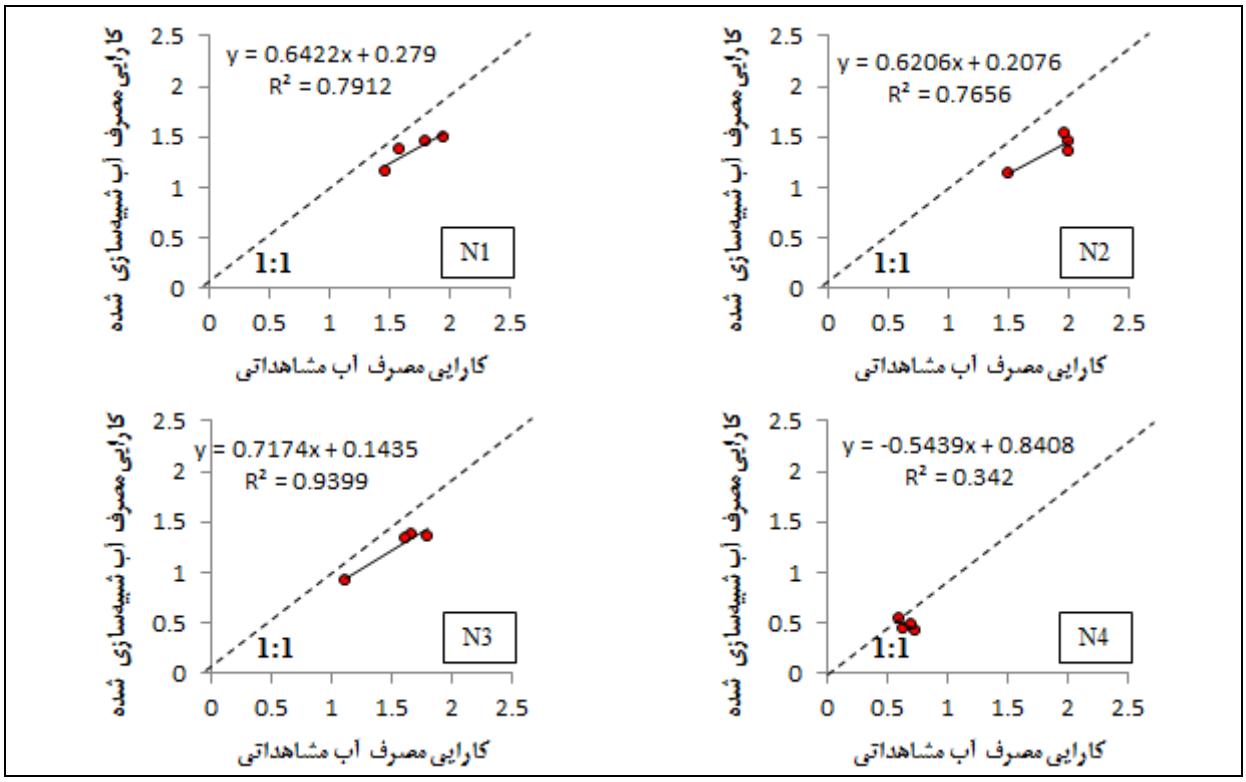
مقایسه بین بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در شکل (۴) نشان داده شده است. حداقل و حداکثر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تیمار N1 به ترتیب برابر با ۱۲/۷ و ۲۳/۲ درصد بود. حداکثر اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای کودی N2، N3 و N4 به ترتیب برابر با ۳۲/۵، ۲۴/۰ و ۴۳/۲ درصد و حداقل اختلاف به ترتیب برابر با ۲۱/۹، ۱۶/۸ و ۹/۸ درصد بود. با توجه به این نتایج، تغییرات تنش کودی تأثیر منظمی بر مقادیر اختلاف بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نداشت. این نتایج براساس ضریب تبیین در شکل (۵) نیز قابل توجیه است. روند تغییرات بهره وری آب در شکل (۶) نشان می‌دهد که تغییرات منظمی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود نداشت

.

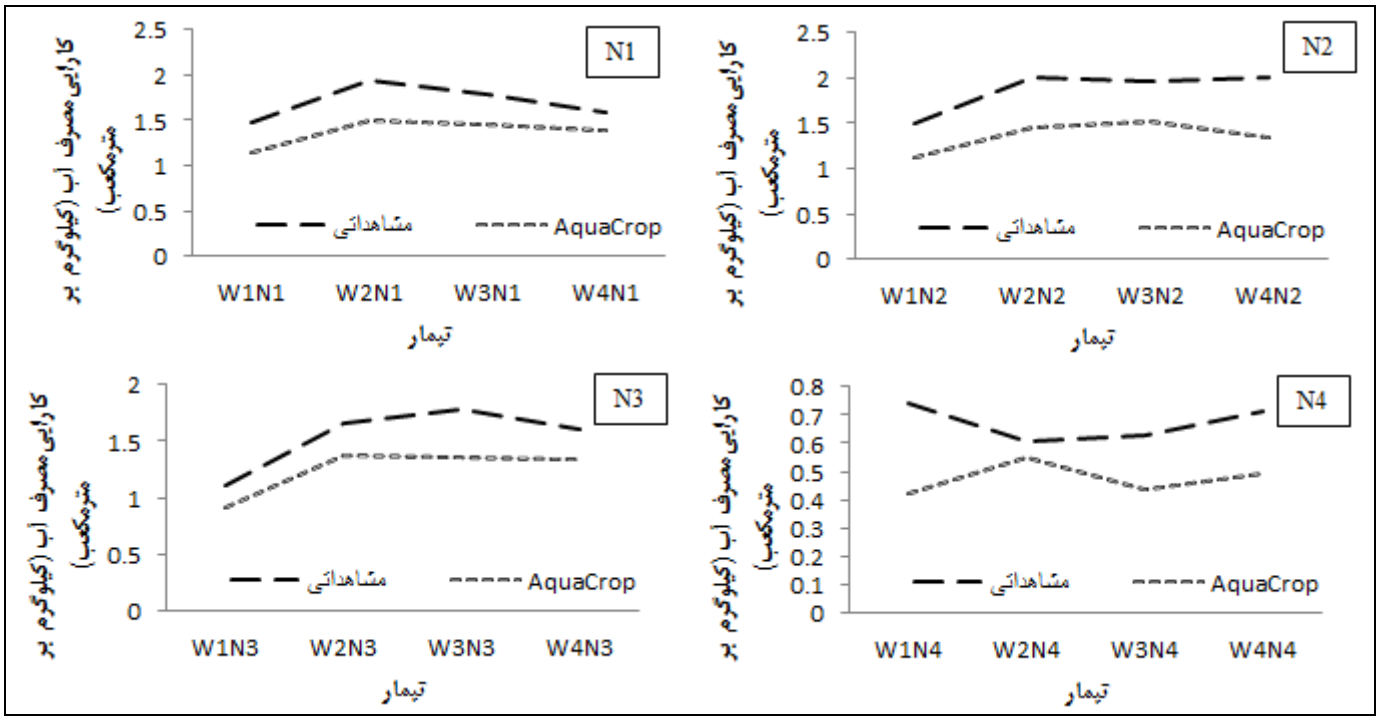




شکل (۴): مقایسه بهره وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به تفکیک تیمارهای کودی در مرحله صحت‌سنجی



شکل (۵): همبستگی بین بهره وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به تفکیک تیمارهای کودی در مرحله صحت‌سنجی



شکل (۶): رابطه بین مقادیر مختلف بهره وری آب در تنش‌های آبی به تفکیک تیمارهای کودی در مرحله صحت‌سنجی

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی دچار خطای کم‌برآوردی در محدوده‌ی قابل قبول شد. مقایسه عملکرد و بهره‌وری آب نشان داد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد دانه دقت بیشتری نسبت به بهره‌وری آب داشت. براساس آماره NRSME، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد دانه در دسته عالی و برای شبیه‌سازی بهره‌وری آب در دسته متوسط قرار داشت. با کاهش مقدار آب آبیاری، دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد کاهش یافت. این روند برای تنش کودی نیز مشاهده شد. در حالی که روند تغییرات بهره‌وری آب تحت تنش‌های آبی و کودی تغییرات منظمی نداشت. با توجه به این نتایج، کاربرد مدل AquaCrop در شرایط تنش آبی و کودی شدید می‌بایست با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد. در شرایط بدون تنش و یا تنش ملایم دقت آن قابل اعتماد است.

منابع

ابراهیمی‌پاک ن.، اگدرنژاد ا.، تافته آ. و احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFOST، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین، آبیاری و زهکشی، ۱۳(۳-۷۵): ۷۲۶-۷۱۵.

احمدی، م.، خاشعی سیوکی، ع. و سیاری، م. ح. ۱۳۹۵. بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (Crocus sativus L) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارده. بوم شناسی. ۸(۴-۴): ۵۲۰-۵۰۵.

حسن‌لی، م.، افراسیاب، پ.، و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶(۳): ۴۹۸-۴۸۷.

رحیمی‌خوب، ح.، ستوده‌نیا، ع. و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۳. واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۸): ۱۱۵-۱۰۸.

رحیمی‌خوب، ح.، سهرابی، ت. و دلشاد، م. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رشد گیاه ریحان تحت تنش‌های مختلف حاصلخیزی در شرایط کشت کنترل شده گلخانه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۳): ۵۵۲-۵۴۱.

رنجبر، آ. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی تومان آب، نیتروژن و عملکرد محصول به منظور تعیین شاخص تغذیه نیتروژن در دوره رشد ذرت، رساله دکتری، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. پاکدشت.

رنجبر، آ.، رحیمی‌خوب، ع. و ابراهیمیان. ح. ۱۳۹۶. ارزیابی روش نیمه‌کمی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت به کود نیتروژن. آبیاری و زهکشی. ۲(۱۱): ۲۹۸-۲۸۶.

عباسی، ف. و چوگان، ر. ۱۳۹۰. بررسی اثرات کود آبیاری سطحی بر بهره وری آب، عملکرد و اجزا، عملکرد ذرت دانه‌ای در کرج. طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

محمدی م.، داوری ک.، قهرمان ب.، انصاری ح. و حق‌وردی ا. ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.

محمدی م.، داوری ک.، قهرمان ب.، انصاری ح. و حق‌وردی ا. ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.

مهرآذر آ.، سلطانی ج و رحمتی ا. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت (Zea mays L/) تحت شرایط تنش شوری. آب و خاک. ۳۰(۵): ۱۴۳۹-۱۴۲۶.

وطن‌خواه ا و ابراهیمیان ح. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت علوفه‌ای در طول جویچه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷(۳): ۵۰۴-۴۹۵.

Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., Hashemi, S. R., 2014. The effect of magnetic water and calcific and potasic zeolite on the yield of Lepidium Sativum L, International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(6): 2051-2060.

Akumaga,U., Tarhule,A and Yusuf,A.A. 2017. Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. Agricultural and Forest Meteorology 232: 225–234.

Amiroche, M., Smadhi, D., Zella, L. 2021. Calibration and validation of the AquaCrop model for the culture lettuce (Lactuca sativa L.) under fertilization levels in pluvial condition. CIGR Journal. 23(1): 36-46.

Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barely. Agricultural Water Management. 97:1838–1846.

De Juan Valero, J. A. M., Maturano, A., Artigao, J. M., Ramirez,T. M. B., and Ortega, A. J. F. (2005). Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. Spanish Journal of Agricultural Research. 3(1): 134-144.

Geerts, S., Raes, D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96: 1275-1284.

Guo, D., Zhao, R., Xing, X., Ma, X. 2020. Global sensitivity and uncertainty analysis of the AquaCrop model for maize under different irrigation and fertilizer management conditions. Agronomy and Soil Science. 66(8): 1115-1133.

HsiaoT C., Heng L K., Steduto P., Raes D and Fereres E. 2009. AquaCrop-Model parameterization and testing for maize. Agronomy. 101: 448-459.

Katerji N., Campi P and Mastrorilli M. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. Agricultural Water Management. 130: 14-26.

Malik A., Shakir A. S., Ajmal M., Jamal Khan, M. and Ali Kan, T. 2017. 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.

Masanganise, J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., and Mhizha, T. 2013. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. International Journal of Agricultural and Food Science. 3(4): 157-163.

Stricevic R., Cosic M., Djurovic N., Pejic, B. and Maksimovic, L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. Agricultural Water Management. 98: 1615-1621.

Van Gaelen,H., Tsegay,A., Delbecque,N., Shrestha,N., Garcia,M., Fajardo,H., Miranda, R., Vanuytrecht,E., Abrha,B., Diels,J and Raes,D. 2014. Asemi-quantitative approach for modelling crop response to soil fertility: evaluation of the Aqua crop procedure. Journal of Agricultural Science. 1–16.

Field Assessment of AquaCrop Model for Simulation of Maize under Water and Fertilizer Stress

Seyed Kioomars Pazhoohideh [1], Aslan Egdernezhad [2*], Fariborz Abbasi [3]

Abstract

The AquaCrop model is one of the most widely used crop model that has been evaluated to simulate different crops. However, its accuracy in the simultaneous use of water stress and fertilizer in furrow irrigation has not been investigated. Therefore, the present study was accomplished using two factors: the amount of crop water requirement (at four levels W1, W2, W3 and W4, respectively, 120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen fertilizer (at four levels N1, N2, N3 and N4 represent the application of 100, 80, 60 and zero percent fertilizer requirements, respectively). The required data, consisted of meteorological, soil, irrigation and nitrogen amounts, and crop characteristics, were collected in Seed and Plant Breeding Research Institute (in Karaj). Aforementioned data were used to simulate maize yield and crop water productivity. The results showed that the AquaCrop model for yield simulation (MBE = -0.15) and water efficiency (MBE = -0.32) had an overestimation error. The accuracy of this model for simulating grain yield and water productivity was 9% and 24%, respectively. With increasing water and fertilizer stress, the accuracy of the AquaCrop model for yield simulation decreased. The efficiency of the AquaCrop in simulating grain yield (EF = 0.92) and water productivity (EF = 0.47) was very favorable. Applying of the model in similar conditions is recommended for future studies.

Keywords: Furrow irrigation, Drought Stress, Water Productivity, Crop Modeling.

[1] M.Sc. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: kiumars_pa@yahoo.com. Tel: 09166415406.

[2] Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: a_eigder@ymail.com. Tel: 09163111269. **(Corresponding author)**

[3] Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: fariborzabbasi@ymail.com. Tel: 09125603438.