Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 1, Issue 1

Evaluation of AquaCrop Model for simulation of Rice Different Cultivars Response to Planting Method

Seyed Amir Hossein Mousavi, Aslan Egdernezhad[1]*, Abdolali Gilani

[1]M.Sc. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[2]Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[3]Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ahvaz, Iran

Received:30.03.2022; Accepted:01.07.2022

Abstract

The cultivation of rice because of its high irrigation water consumption is crucial. This crop is the most important food source in Iran. It is thus necessary to know how much irrigation water must be used to grow different rice cultivars under various cultivation types. Also, applying farm tests to achieve the goal need high costs and waste much time. As a result, it is necessary to use crop modeling. In this study, AquaCrop was used to simulate yield, biomass and water use efficiency of rice. The research was conducted at Khuzistan Agricultrual Research Station in 2010. Three types of cultivation, namely (D1: transplanting, D2: current directs seeding consorted seeding, and D3: dry bed seeding) and rice cultivars (V1: Red-Anbori, V2: Champa, V3: Danial) were considered to simulate abovementioned parameters. MBE, RMSE and NRMSE values for seed yield were 0.25 ton.ha^{-1}, 1.0 ton.ha^{-1} and 0.1, respectively. Those values for biomass were 0.3 ton.ha^{-1}, 1.15 ton.ha^{-1} and 0.05, respectively, and for water use efficiency were 0.07 kg.m^{-3}, 0.24 kg.m^{-3} and 0.03, respectively. EF values for seed yield, biomass and water use efficiency were 0.87, 0.56 and 0.65, respectively. Furthermore, d values for all parameters were equal to 0.99. As the findings represented, AquaCrop had good accuracy for simulation of rice yield, biomass and water use efficiency.

Keywords: Danial Cultivar, Dry bed seeding, Transplanting

* Corresponding author, Email: a_eigder@ymail.com

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست"
دوره اول، شماره اول
http:// Nawee.gonbad.ac.ir

ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی واکنش ارقام مختلف برنج به روش کاشت

سید امیرحسین موسوی[1]، اصلان اگدرنژاد[2]*، عبدالعلی گیلانی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
[2]استادیار، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
[3]استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج‌کشاورزی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

چکیده

توجه به زراعت برنج به دلیل مصرف زیاد آب در کشاورزی پایدار بسیار اهمیت دارد. این گیاه زراعی مهم‌ترین منبع غذایی در کشور ما محسوب می شود و به همین دلیل اطلاع از مقدار آب مصرفی آن در ارقام مختلف با روش‌های کاشت گوناگون مهم است. چون انجام آزمایش‌های متعدد برای اطلاع از این موضوع نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است؛ لازم است از مدل‌سازی گیاهی استفاده شود. بدین منظور، برای ارزیابی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج با مدل AquaCrop تحقیقی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. در این تحقیق، دو عامل روش کاشت (D1: نشایی، D2: مستقیم رایج در منطقه و D3: خشکه‌کاری) و رقم برنج (v1: عنبوری قرمز، v2: چمپا و v3: دانیال) برای شبیه‌سازی پارامترهای مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. مقادیر آماره‌های MBE، RMSE و NRMSE برای عملکرد برنج به‌ترتیب برابر با ۰/۲۵ تن در هکتار، ۱/۰ تن در هکتار و ۰/۱۰ بود. این مقادیر برای زیست‌توده به‌ترتیب برابر با ۰/۳۰ تن در هکتار، ۱/۱۵ تن در هکتار و ۰/۰۵ و برای کارایی مصرف آب به‌ترتیب برابر با ۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب، ۰/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۰۳ بود. مقادیر آماره EF برای عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج به‌ترتیب برابر با ۰/۸۷، ۰/۵۶ و ۰/۶۵ و مقادیر d برای هر سه پارامتر برابر با ۰/۹۹ بود. با توجه به این نتایج، مدل AquaCrop دقت کافی در شبیه سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج جهت نیل به کشاورزی پایدار داشت.

واژه‌های کلیدی: خشکه‌کاری، رقم دانیال، کشت نشایی، مدل گیاهی

* نویسنده مسئول، Email: a_eigder@ymail.com

مقدمه

برنج (Oryza sativa) از مهم‌ترین منابع غذایی جهان محسوب می‌شود و هر ساله میزان مصرف آن در حال افزایش است (FAO, 2017). براساس گزارش منتشر شده از مرکز ایری، میزان تولید برنج تا سال ۲۰۳۵ می‌باید حداقل ۲۶ درصد افزایش یابد(IRRI, 2008). استان خوزستان یکی از مناطق عمده‌ی کشت برنج در کشور محسوب می‌شود که به دلایل مختلف این گیاه زراعی دارای عملکرد و راندمان مصرف آب پایین است. کشت برنج در دنیا معمولاً به صورت نشاکاری انجام می‌شود، لیکن در سال‌های اخیر روش‌های مستقیم کشت به دلیل راندمان بهتر مورد توجه قرار گرفته است (Sharma et al., 2003).

در استان خوزستان سه روش نشاکاری، خشکه‌کاری و مستقیم برای زراعت برنج پیشنهاد شده است. ارقام مختلفی نیز در این استان برای کشت برنج پیشنهاد شده است که برخی از آن‌ها در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد. استان خوزستان به‌عنوان یکی از مراکز کشت برنج در کشور، در دوراهی تولید محصول برنج و کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی (Ahmadee et al., 2014; Egdernezhad et al., 2017; Ebrahimipak et al., 2019) قرار دارد. برای دستیابی به یکی از اهداف کشاورزی پایدار، که همان افزایش میزان تولید گیاهان زراعی و کارایی مصرف آن‌ها است، نیاز است اثر ارقام مختلف برنج با روش‌های کشت اشاره‌شده بررسی شود. با وجود این بررسی این ارقام به همراه روش‌های مختلف کشت در بسیاری از نقاط استان خوزستان نیازمند انجام آزمایش‌های متعددی است. انجام این آزمایش‌ها سبب صرف هزینه‌های بسیار شده، نیازمند در نظر گرفتن زمان طولانی است. برای رفع این مشکلات، می‌توان از مدل‌های گیاهی برای شبیه سازی این عوامل در سایر نقاط استان استفاده کرد (Van dam et al., 1997; Geerts et al., 2009; Shahidi and Ahmadee, 2015). مدل AquaCrop یکی از بهترین مدل‌های گیاهی است که تاکنون منتشر شده است (Ebrahimipak et al., 2019). این مدل را سازمان خواربار کشاورزی و برای شبیه‌سازی واکنش گیاهان به وضعیت‌های محیطی مختلف از جمله مقدار آب آبیاری طراحی کرده است (Geerts and Raes, 2009). با توجه به قابلیت‌های این مدل، از جمله دقت زیاد و سادگی کاربرد، تاکنون توسط بسیاری از محققان برای مدل‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گیاهان زراعی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Ebrahimipak et al., 2018). به‌عنوان مثال Hsiao et al (2009) از این مدل برای تعیین عملکرد ذرت استفاده کردند. در تحقیقی دیگر، Heng et al(2009) به‌منظور شبیه سازی واکنش ذرت به وضعیت‌های مختلف رطوبتی خاک از مدل AquaCrop استفاده کردند. سایر محققان از جمله(2009) Farahani et al ، (2009) Garcia-vila et al و (2009) Todorovic et al نیز از این مدل برای شبیه‌سازی گیاهانی مانند پنبه و آفتابگردان استفاده کردند. Saadati et al (2011) برای شبیه‌سازی برنج از مدل AquaCrop استفاده کردند و نشان دادند که این مدل به خوبی توانست عملکرد این گیاه زراعی را تعیین کند. در تحقیقی دیگر، از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب زعفران استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی و دقت این مدل برای شبیه‌سازی زعفران قابل قبول بود (Ebrahimipak et al., 2018). از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گندم در شهرستان بروجرد استفاده شد و گزارش شد که دقت این مدل گیاهی قابل قبول بود و به نتایج به دست آمده از آن می‌توان اعتماد کرد (Ahmadee et al., 2021). از مدل واسنجی‌شده‌ی AquaCrop برای شبیه‌سازی مقدار آب آبیاری کلزا استفاده شد و نتایج نشان داد که دقت این مدل گیاهی برای تعیین عملکرد کلزا قابل قبول بود (Egdernezhad et al., 2019).

سابقه‌ی تحقیق نشان داد که دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی بسیاری از گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفته است. براساس هدف مورد مطالعه، شبیه‌سازی عملکرد برنج با استفاده از مدل AquaCrop با رقم‌های مختلف و روش‌های متفاوت کاشت برنج می‌تواند کمک شایانی به محققان کند. لیکن نیاز است در ابتدا دقت و کارایی این مدل با شرایط ذکر شده سنجیده شود. بنابراین تحقیق

حاضر به‌منظور ارزیابی دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی اثر روش کاشت بر عملکرد، زیست‌توده، روند توسعه پوشش گیاهی و کارایی مصرف آب سه رقم مختلف گیاه برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به اهداف تحقیق، ابتدا مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های حاصل از برداشت مزرعه‌ای واسنجی شد. بدین منظور، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در طول جغرافیایی '۴۹ °۳۱ و عرض جغرافیایی '۲۵ °۴۸ در نظر گرفته شد. آماده‌سازی زمین قبل از شروع کاشت انجام شد. بدین منظور از خاک مزارع به صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام شد و مورد بررسی قرار گرفت. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است. به‌منظور آبیاری این گیاه زراعی، ابتدا ضریب گیاهی آن تعیین شد، سپس مقدار آب آبیاری برای هر روش کاشت محاسبه و اعمال گردید. جهت جلوگیری از هر گونه نفوذ عمقی و جانبی آب از کرت‌ها، تمام پشته‌ها تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک با پلاستیک پوشانده شد. مشخصات آب آبیاری در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌ی خاک محل اجرای آزمایش

Cl mel^{-1}	Ca mel^{-1}	Mg mel^{-1}	Na mel^{-1}	K ppm	P Ppm	O.C. (%)	pH	EC (dS/m)
۱۰	۱۴	۱۱	۱۲/۵	۲۵۴	۸	۰/۸۸	۷/۷	۲/۹

جدول ۲- تجزیه‌ی شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش

هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	بافت خاک	کربنات	بیکربنات	کلر	کلسیم	منیزیم	سدیم
			$meq.l^{-1}$					
۱/۲	۷/۷	سیلتی‌رسی	صفر	۳/۹	۲/۶	۴/۰	۴/۵	۴/۸

در این آزمایش، دو عامل روش کاشت (D1: نشایی، D2: مستقیم رایج در منطقه و D3: خشکه‌کاری) و نوع رقم برنج (v1: عنبوری قرمز، v2: چمپا و v3: دانیال) در کرت‌هایی با مساحت ۱۲ متر مربع مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شدند. مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد برنج، از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه‌شده (رابطه ۱) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند. تفکیک این مؤلفه به دو جزء تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می شود تا مصرف غیرتولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۲).

$$\frac{Yx-Ya}{Yx}=Ky\frac{ETx-ETa}{ETx} \qquad (۱)$$

$$Tr=Ks\times CC\times Ke\times ETo \qquad (۲)$$

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

$$CC=CCo\times e^{CGCi} \qquad (۳)$$

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

$$B=WP^{*}\left[\frac{Tr}{ETo,i}\right] \qquad (۴)$$

در این رابطه، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب، ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد (Y) نیز با استفاده از ماده‌ی خشک تولیدشده 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. داده‌های مورد استفاده در این مدل در چهار گروه داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه دسته‌بندی می‌شوند. هر گروه از داده‌ها براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا داده‌های موجود به مدل معرفی شدند.

پیش از انجام واسنجی، ابتدا مدل AquaCrop با استفاده از رابطه (۶) مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت (Geerts and Raes, 2009):

$$Sc=\left|\frac{Pm-Pb}{Pb}\right|\times 100 \quad (۶)$$

در این رابطه، S_c ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآوردشده عامل مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل‌شده و P_b مقدار برآورد عامل مورد نظر براساس داده‌ی ورودی پایه است. به‌منظور تحلیل حساسیت هر عامل بر مقدار خروجی، آن عامل به میزان ۲۵ درصد مقدارش افزایش و کاهش می‌یافت. سپس مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، Sc>۱۵ حساسیت بالا، ۱۵>Sc>۲ حساسیت متوسط، Sc<۲ حساسیت پایین اندازه‌گیری شد (Geerts et al., 2009). سپس، برای تعیین مقادیر پارامترهای ورودی این مدل، واسنجی انجام شد. پس از تعیین پارامترهای واسنجی شده، صحت سنجی این مدل انجام شد. برای تعیین کارایی و دقت این مدل در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF) و شاخص توافق (d) استفاده شد. این آماره‌ها به‌ترتیب در روابط (۷) تا (۱۰) نشان داده شده‌اند.

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

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

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)}{n} \quad (۹)$$

$$EF=\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2} \quad (۱۰)$$

$$d=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|Pi|-|Oi|)^2} \quad (۱۱)$$

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها است. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۲/۳-۰/۰ و بیشتر از ۰/۳ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده‌ی این است که مدل‌های رشد گیاهی مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده‌ی صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است.

نتایج و بحث

پیش از واسنجی مدل AquaCrop، حساسیت آن به پارامترهای ورودی براساس رابطه (۶) بررسی شد. نتایج به دست آمده در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، تغییرات بیشتر پارامترهای ورودی سبب حساسیت متوسط این مدل شد. به همین دلیل بیشتر این پارامترها برای واسنجی مدل AquaCrop مورد استفاده

قرار گرفت. به‌منظور واسنجی، هر کدام از پارامترهای ورودی مدل آن‌قدر تغییر داده شد تا نتایج به‌دست‌آمده از مدل AquaCrop با نتایج مزرعه‌ای منطبق شود. نتایج پارامترهای به‌دست‌آمده از واسنجی در جدول (۴) نشان داده شده است. گرچه به دلیل تعدد این پارامترها، تنها بخشی از آن‌ها در این جدول نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت مدل AquaCrop

پارامتر	مقدار Sc در حالت ۲۵٪+	مقدار Sc در حالت ۲۵٪-	درجه حساسیت
رطوبت در ظرفیت زراعی	۲/۶	۹/۱	متوسط
رطوبت در نقطه‌ی پژمردگی	۶	۶/۵	متوسط
رطوبت اشباع	۲/۴	۴/۴	متوسط
دمای حداقل	۳/۷	۶/۱	متوسط
دمای حداکثر	۷/۴	۷/۲	متوسط
ضریب رشد پوشش گیاهی	۳	۱۰/۹	متوسط
بهره‌وری آب نرمال شده	۵	۱۲	متوسط
شاخص برداشت	۵/۱	۳/۹	متوسط
حد بالای مربوط به توسعه‌ی پوشش گیاهی	۷/۴	۸/۵	متوسط
حد پایین مربوط به توسعه‌ی پوشش گیاهی	۶/۹	۱۰/۱	متوسط
حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	۱۰/۸	۵/۹	متوسط

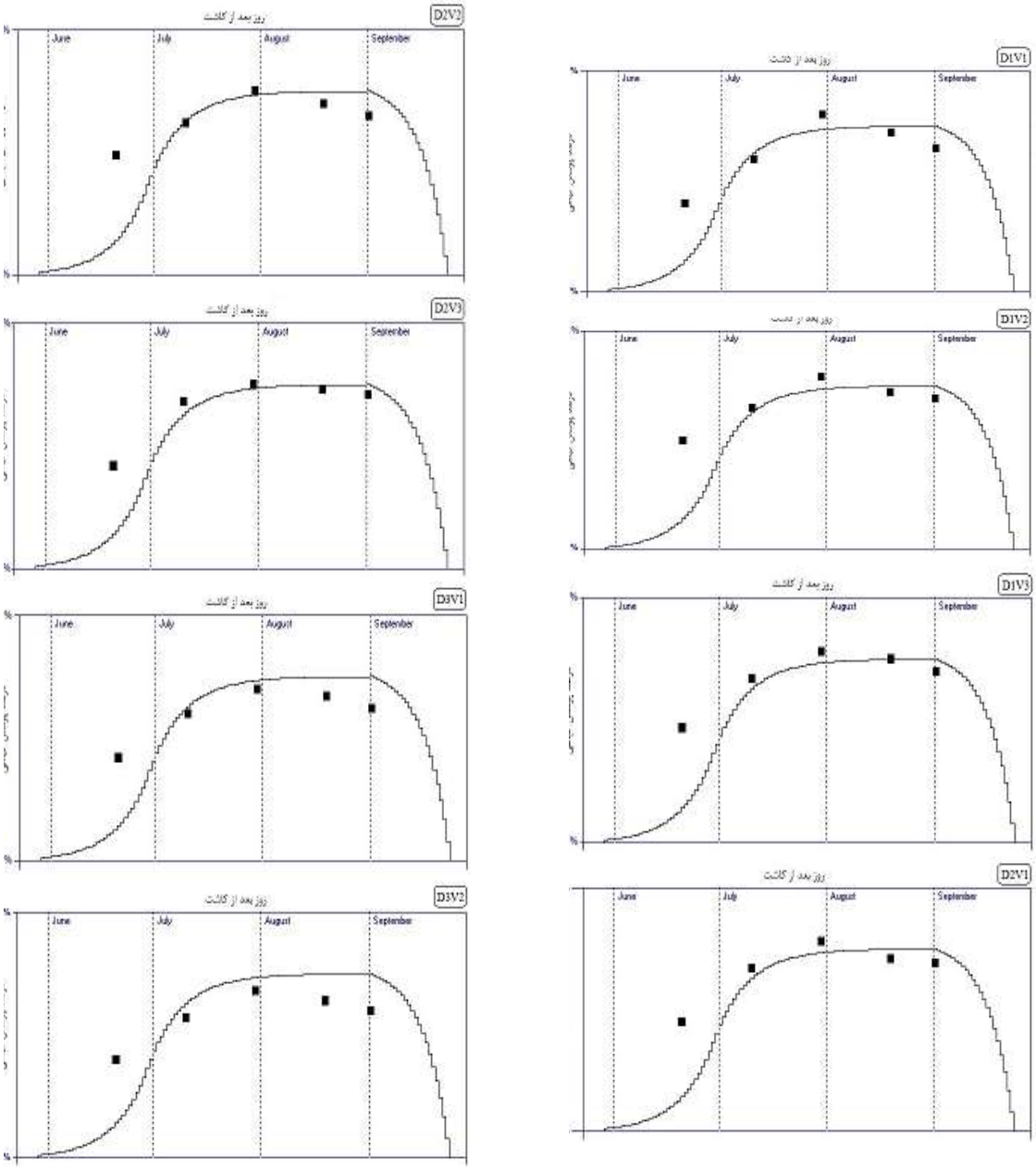
جدول ۴- نتایج پارامترهای واسنجی شده و پیش‌فرض مدل AquaCrop

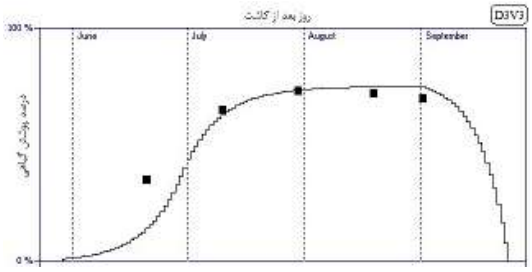
پارامتر	مقادیر پارامترهای مورد بررسی			واحد
	عنبوری قرمز	چمپا	دانیال	
پوشش گیاهی اولیه	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	درصد
ضریب رشد پوشش گیاهی	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۱	درصد بر روز
حداکثر پوشش گیاهی	۷۵	۷۵	۷۵	درصد
ضریب کاهش پوشش	۸	۸	۸	درصد بر روز
بهره‌وری نرمال شده	۱۹	۱۹	۱۵	گرم بر متر مربع
شاخص برداشت	۰/۳	۰/۳	۰/۴	درصد
حداکثر عمق ریشه	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	متر
حد بالای مربوط به توسعه‌ی پوشش گیاهی	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۸	-
حد پایین مربوط به توسعه‌ی پوشش گیاهی	۰/۳	۰/۴	۰/۵	-
ضریب شکل منحنی مربوط به تنش توسعه برگ	۴	۴	۴	-
حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	۰/۵	۰/۵	۰/۴	-
ضریب شکل منحنی مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	۴	۴	۴	-

نتایج شبیه سازی پوشش گیاهی در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج شبیه‌سازی به داده‌های مزرعه‌ای نزدیک بود. نتایج به‌دست‌آمده از مدل AquaCrop در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف بین نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۲/۶ و ۰/۰۷ تن بر هکتار بود. این مقادیر به‌ترتیب در تیمارهای D2V3 و D1V2 به دست آمد. در کلیه تیمارها به جز D2V3 و D2V1، اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی عملکرد بسیار کم بود. به طوری که متوسط این اختلاف برابر با ۰/۲۳ تن در هکتار به دست آمد. در

اکثر تیمارها مقدار شـــبیه‌ســـازی شـــده بیشـــتر از مقادیر مشاهداتی بود که در شکل (۳) نیز قابل مشاهده است.

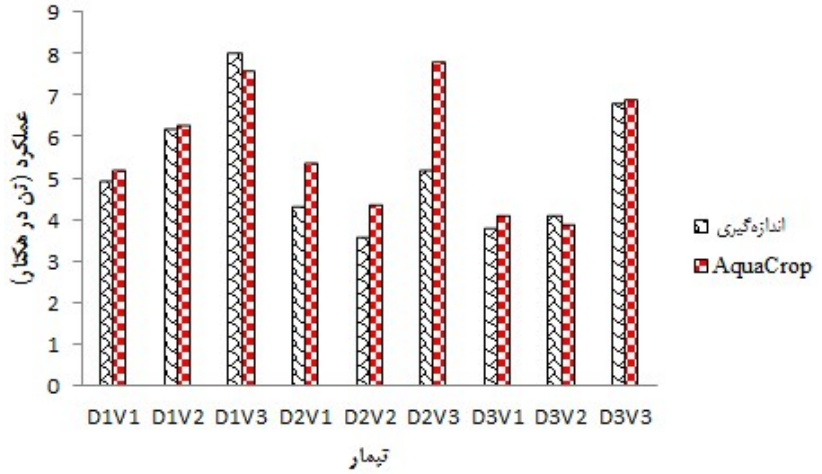
نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده برنج در شکل (۳) نشان داده شـده اسـت. براسـاس این نتایج بیشـترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۱/۸ و ۰/۵۲ تن در هکتار بود. این مقادیر به‌ترتیب در D3V1 و D1V1 مشاهده شد. این مقادیر در تیمارهای D3V3 و D1V2 به‌ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۰/۸۷ تن در هکتار بود. برای ســـایر تیمارها این مقدار نزدیک یک تن بود که مقدار نسـبتا مطلوبی اسـت. متوسـط اختلاف بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی برابر با ۱/۰۷ تن بر هکتار بود.



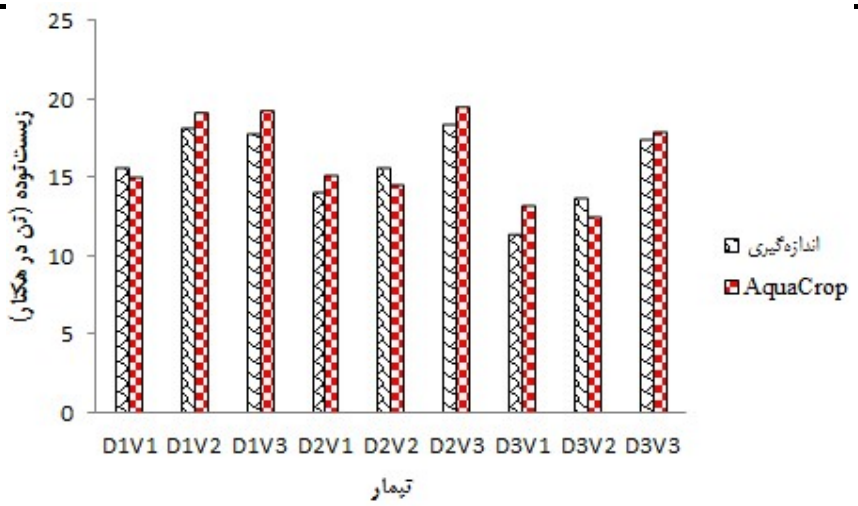


شکل ۱- روند توسعه پوشش سطح برگ در شرایط واقعی (■) و شبیه‌سازی شده (--) با مدل AquaCrop برای تیمارهای مختلف (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

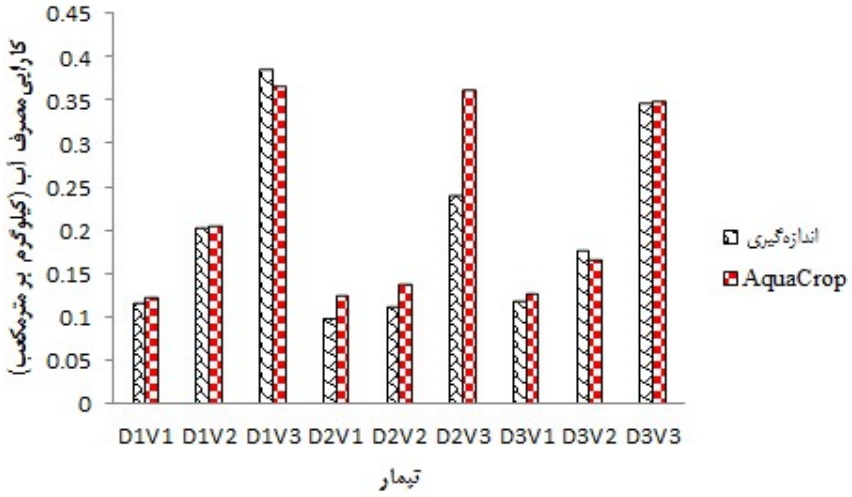
مدل AquaCrop مقدار زیست‌توده را براساس توسعه‌ی پوشش گیاهی تعیین می‌کند. با توجه به دقت مناسب این مدل در تعیین پوشش گیاهی (شکل ۲)، مقادیر شبیه‌سازی شده زیست‌توده نیز به مقادیر مشاهداتی نزدیک بود. این نتایج برای عملکرد دانه نیز به دست آمد و در همه تیمارها، به جز D2V3 و D2V1، عملکرد مشاهداتی و شبیه سازی شده به هم نزدیک بود. اختلاف عملکرد بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی در تیمار D2V2 نیز تقریباً زیاد بود. بنابراین، گرچه مدل AquaCrop روند توسعه رشد پوشش گیاهی و زیست‌توده را برای روش کشت مستقیم با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده است، در شبیه‌سازی عملکرد آن دقت مناسبی نداشت. علت آن، خصوصیات این روش کاشت است؛ زیرا این روش به صورت بذرپاشی است و توسعه جوانه‌های کمتری نسبت به روش نشایی صورت می‌گیرد. با توجه به شکل ۳، گرچه میزان آب اختصاص داده شده در این روش بیشتر از روش خشکه‌کاری بود (شکل ۱)،عملکرد مشاهداتی در این روش در برخی تیمارها کمتر از روش خشکه‌کاری به دست آمد. در نتیجه، مدل AquaCrop برای تعیین عملکرد دچار خطا شد. براساس شکل ۴، زیست‌توده تیمارها در روش مستقیم بیشتر از خشکه‌کاری بود. علت آن توسعه‌ی پوشش گیاهی بیشتر در روش مستقیم (شکل ۱) و تبدیل آن به زیست‌توده بیشتر است.



شکل ۲- مقایسه‌ی نتایج بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد با مدل AquaCrop (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)



شکل ۳- مقایسه‌ی نتایج بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده زیست‌توده با مدل AquaCrop (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)



شکل ۴- مقایسه‌ی نتایج بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب با مدل AquaCrop (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، گرچه در تیمار D2V3 اختلاف مقادیر زیادی بین نتایج AquaCrop و داده‌های اندازه‌گیری شده مشاهده شد، میزان کارایی مصرف آب در این تیمار نیز زیاد بود. اگر اختلاف نتایج مشاهداتی و شبیه سازی شده براساس درصد بیان شود، بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۵۰ و ۱ درصد خواهد بود.

مقایسه‌ی کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف به‌ترتیب برابر با ۰/۱۲ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر به‌ترتیب به تیمارهای D2V3 و D1V2 اختصاص داشت. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز برابر با ۰/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

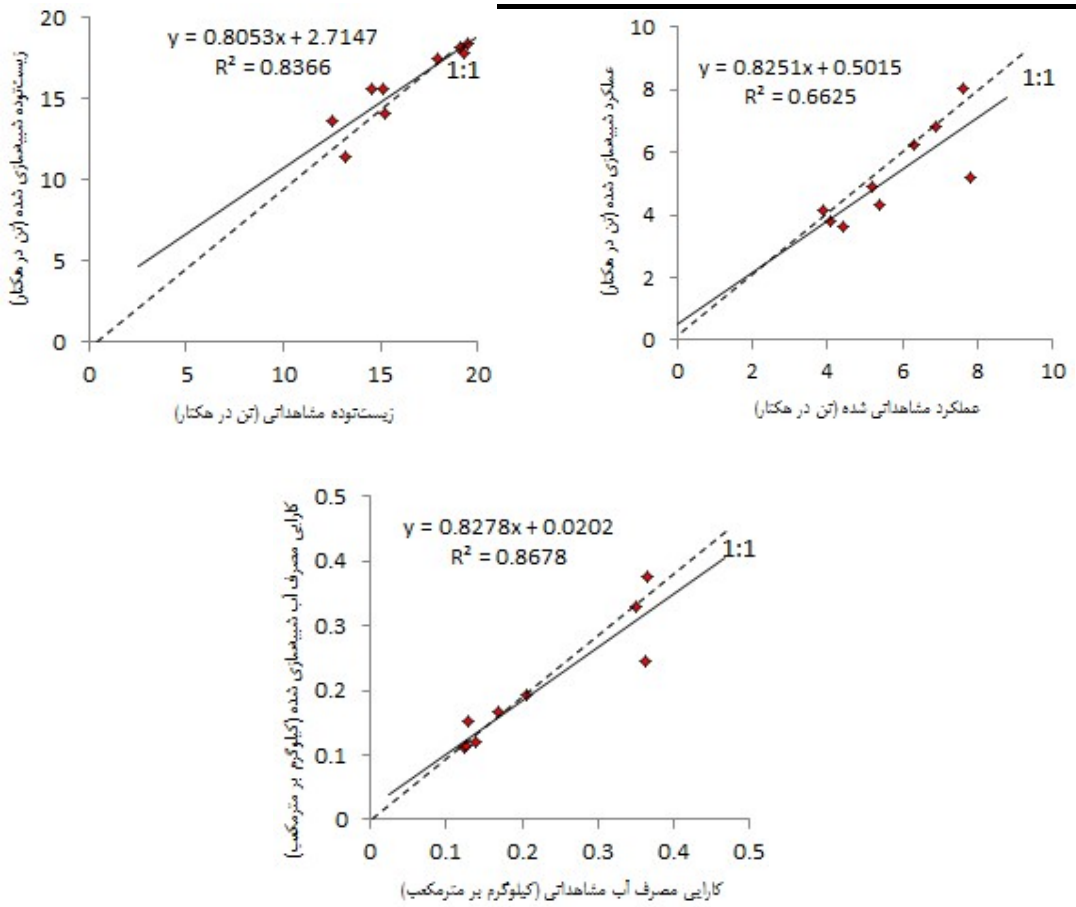
نتایج صحت‌سنجی این مدل در جدول (۵) نشان داده شده ا ست. برا ساس مقادیر MBE، این مدل دچار خطای بیش‌برآوردی شـــد. مقادیر آماره‌های RMSE و NRMSE نیز نشـــان داد که این مدل دقت عالی برای تعیین تمام پارامترهای مورد بررســی داشــت. این نتایج با مشــاهدات Farahani et ،(2009) Heng et al. ،(2009) Hsiao et al. (2009) و .Ebrahimipak et al (2018) مطابقت داشت. مقادیر آماره EF بسیار زیاد بود و نشان داد که کارایی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب قابل قبول بود. مقادیر به‌دســـت‌آمده برای آماره d نیز نشـــان داد که نتایج این مدل توافق خوبی با نتایج واقعی داشت.

جدول ۵- مقایسه‌ی آماری نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برنج با مدل AquaCrop

پارامتر	MBE	RMSE	NRMSE	EF	D
عملکرد	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۱۰	۰/۸۷	۰/۹۹
زیست‌توده	۰/۳۰	۱/۱۵	۰/۰۵	۰/۵۶	۰/۹۹
کارایی مصرف آب	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۶۵	۰/۹۹

با در نظر گرفتن مقادیر مشــاهداتی، عملکرد دانه برنج در روش‌های کاشـــت نشـــایی، مســـتقیم و خشـــکه‌کاری به‌ترتیب برابر با ۶/۳، ۴/۶ و ۴/۹ تن بر هکتار بود. عملکرد دانه‌ی برنج در رقم‌های عنبوری قرمز، چمپا و دانیال نیز به‌ترتیب برابر با ۴/۳، ۴/۶ و ۶/۹ تن در هکتار به‌دست آمد.

زیست‌توده مشاهداتی برای کاشت نشایی، مستقیم و خشـــکه‌کاری به‌ترتیب برابر با ۱۷/۲، ۱۶/۰ و ۱۴/۱ تن در هکتـار و برای رقم‌هـای عنبوری قرمز، چمپـا و دانیـال به‌ترتیب برابر با ۱۳/۷، ۱۵/۸ و ۱۷/۸ تن در هکتار بود. مقایسه‌ی این مقادیر با عملکرد شبیه‌سازی شده در شکل (۲) نشـــان می‌دهد که این مدل روند تغییرات عملکرد را نسبتاً قابل قبول شبیه‌سازی کرده است. این نتیجه با توجه به شکل ۵ قابل توجیه ا ست. در این شکل مقدار ضریب تبیین بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده عملکرد برابر با ۰/۶۶ به دست آمد که قابل قبول است. این ضریب برای زیست‌توده برابر با ۰/۸۳ بود که مقداری بالاتر داشت. ضـریب تبیین برای کارایی مصـرف آب در شـکل ۵ نشـان داده شده است و مقدار آن برابر با ۰/۸۵ است.



شکل ۵- همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج با مدل AquaCrop (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

نتیجه‌گیری

این تحقیق به‌منظور بررسی دقت و کارایی مدل AquaCrop برای دستیابی به روشی برای شبیه‌سازی تأثیر روش کاشت و رقم برنج مورد استفاده بر عملکرد پایدار گیاه برنج انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که این مدل دارای دقت عالی بود، لیکن در مجموع دچار خطای بیش‌برآوردی شد. کارایی این مدل برای تعیین عملکرد بهتر از زیست‌توده و کارایی مصرف آب برآورد شد. با وجود این مقادیر آماره‌های EF و d نشان داد که این مدل در تعیین هر سه پارامتر مورد بررسی کارایی مطلوبی داشت و می‌توان با تکیه بر این مدل به شبیه‌سازی اثر روش‌های گوناگون کاشت و رقم‌های مختلف پرداخت. این امر به محققان و کشاورزان کمک می‌کند، قبل از کاشت شناخت بهتری از واکنش این گیاه زراعی به دو فاکتور اشاره شده داشته باشند و به یکی از اهداف کشاورزی پایدار، که همان افزایش عملکرد در واحد سطح و کارایی مصرف آب است، دست یابند.

منابع

Ahmadee M., Ghanbarpouri M., Egdernezhad A. 2021. Applied Irrigation Water of Wheat using Sensitivity Analysis and Evaluation of Aqua Crop. Water Management in Agriculture. 8(1): 15-30 (in Persian).

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.

Ahmadee M., Khashei Siuki A., Sayyari M. H. 2015. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement of saffron (crocus sativus L.) (case study: Birjand plain, Iran). Journal of Agronomy, 8(4): 505-520 (in Persian).

Ebrahimipak N., Ahmadee M., Egdernezhad A., Khashei Siuki A. 2018. Evaluation of AquaCrop to simulate saffron (crocus sativus L.) yield under different water management scenarios and zeolite amount, Journal of Water and Soil Resources Conservation, 8(1): 117-132 (in Persian).

Ebrahimipak N., Egdernezhad A., Tafteh A. Ahmadee M. 2019a. Evaluation of AquaCrop, WOFOST, and CropSyst to Simulate Rapeseed Yield. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13(3-75): 715-726 (in Persian).

Ebrahimipak N., Egdernezhad A., Tafteh A., Ahmadee M. 2019b. Economical Optimization of Water Distribution in Qazvin Irrigation Network under Different Water Deficit Conditions. Journal of Environmental Science and Technology. In press (in Persian).

Egdernezhad A., Ebrahimipak N., Tafteh A., Ahmadee M. 2019. Canola Irrigation Scheduling using AquaCrop Model in Qazvin Plain, Water Management in Agriculture, 5(2): 53-64 (in Persian).

FAO, 2017. FAOSTAT. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http:/ www.fao.org.

Farahani H. J., Izzi G., Steduto P., Oweis T. Y. 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. Agronomy. 101: 469-476.

Garcia-Vila M., Fereres E., Mateos L., Orgaz F., Steduto P. 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. Agronomy. 101: 477-487.

Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R., Cusicanqui J. A. 2009. Simulating yield response to water of quinoa (Chenopodium quinoaWilld.) with FAO-AquaCrop. Agronomy. 101: 499-508.

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

Heng L. k., Hsiao T. C., Evett S., Howell T., Steduto P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for Irrigated and Water Deficient field maize, Agronomy Journal. 101(3):488-498.

Hsiao T. C., Heng L., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes, D., Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agron.J. 101(3), 448-459.

IRRI 2008. Background Paper: The Rice Crisis: What Needs to Be Done? IRRI, Los Baños, Philippines, www.irri.org/12pp

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. 101:438–447.

Ladha J. K., Hill J. E., Duxbury J. M., Stricevic R., Cosic M., Djurovic N., Pejic B., 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.

Saadati Z., Pirmoradianand N., Rezaei M. 2011. Calibration and evaluation of AquaCrop model in rice growth simulation under different irrigation managements. 21th International Congress on Irrigation and Drainage, October19-23,Tehran,Iran,589-600.

Shahidi A., Ahmadee M. 2014. A manual for learning SWAP. Kelk Zarrin Publication. Tehran. 168 pp. http://kzp.ir.

Sharma P. K., Ladha J. K., Bhushan, L. 2003. Soil physical effects of puddling in rice-wheat cropping systems. In Improving the Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Systems: Issues and Impacts

Todorovic M., Albrizio R., Zivotic L., Abisaab M., Stwckle C. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy. 101: 509-521.