

اثر مدیریت‌های مختلف آب و تأمین کود نیتروژن بر دقت و کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی

نیاز علی ابراهیمی پاک^{۱*}، اصلان اگدرنژاد^۲، آرش تافته^۳، محمدعلی انصاری^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

مقاله پژوهشی

چکیده

برنامه‌ریزی آبیاری و تأمین نیاز کود نیتروژن تأثیر زیادی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی دارد. لیکن به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن انجام آزمایش‌های مختلف، برای دستیابی به مناسب‌ترین میزان آب آبیاری و کود نیتروژن، می‌توان از مدل‌های رشد گیاهی مانند AquaCrop استفاده کرد. بدین منظور از داده‌های جمع‌آوری شده از یک مزرعه آزمایشی در اسماعیل آباد قزوین طی دو سال زراعی استفاده شد. اثر مقدار آبیاری در چهار سطح (E1: ۵۰، E2: ۷۵، E3: ۱۰۰ و E4: ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) و مقدار کود مصرفی در سه سطح (F1: ۷۰ درصد نیاز کودی، F2: ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه و F3: ۴۰ درصد نیاز کودی) بر عملکرد گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شد. ابتدا مدل AquaCrop تحت شرایط بدون تنش کودی و با استفاده از داده‌های سال اول واسنجی شد. سپس از تیمار F3 در سال اول و دوم برای واسنجی این مدل تحت شرایط کودی (۴۰ درصد نیاز کودی) استفاده شد. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد (R2=0.915) و کارایی مصرف آب (R2=0.893) وجود داشت. نتایج مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط آماره‌های میانگین خطای اریب، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات نرمال شده نشان داد که دقت این مدل برای تعیین هر دو پارامتر عملکرد و کارایی مصرف آب قابل قبول بود. مقادیر این آماره‌ها برای عملکرد به ترتیب برابر با ۰/۰۲- (تن بر هکتار)، ۰/۴۲ (تن بر هکتار) و ۰/۰۷ و برای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۰/۰۱- (کیلوگرم بر مترمکعب)، ۰/۰۲ (کیلوگرم بر مترمکعب) و ۰/۰۳ بود. با توجه به مقادیر کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد (۰/۴۱) و کارایی مصرف آب (۰/۱۹)، استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف آبیاری و کود مصرفی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش کودی، سناریوهای کم آبیاری، کارایی مصرف آب، مدل رشد گیاهی.

^۱ دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. پست الکترونیک: nebrahimipak@yahoo.com، تلفن تماس: ۰۹۱۲۱۸۱۷۱۶۹

^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: a_eigder@ymail.com، تلفن تماس: ۰۹۱۶۳۱۱۱۲۶۹

^۳ استادیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. پست الکترونیک: arash_tafteh@yahoo.com، تلفن تماس: ۰۹۱۲۵۶۵۲۶۰۱

^۴ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: m1370ansari@gmail.com، تلفن تماس: ۰۹۳۷۲۱۰۰۹۰۳



مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از صیفی‌جات مهم در جهان محسوب شده و ایران نیز به عنوان هفتمین تولید کننده آن شناخته می‌شود (تافته و همکاران، ۱۳۹۲). این گیاه زراعی مانند سایر صیفی‌جات به تأمین کافی آب و کود نیتروژن عکس‌العمل مناسبی نشان می‌دهد و عدم تأمین این دو عامل سبب کاهش شدید عملکرد آن می‌گردد (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Pascual et al., 2000). با این وجود، با توجه به اقلیم خشک ایران و بالا بودن مصرف آب در بخش کشاورزی (Ahmade et al., 2014)، اعمال تنش آبی و به کارگیری سناریوهای مختلف کم‌آبیاری در کشت این محصول ناگزیر خواهد بود (ضیایی و همکاران، ۱۳۹۳). از طرفی در سال‌های اخیر تأمین کود نیتروژن برای کشاورزان با مشکلات متعددی همراه بوده است. اعمال کم‌آبیاری در کشت گوجه‌فرنگی سبب کاهش عملکرد این محصول خواهد شد لیکن در شرایط خشکسالی به منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب، روش با ارزشی محسوب می‌شود (Farre and Fasi, 2009; Geert and Raes, 2009). از طرف دیگر، چون نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی و عامل کلیدی در دستیابی گیاهان زراعی به عملکرد مطلوب است؛ عدم تأمین آن در کشت گوجه‌فرنگی، سبب کاهش عملکرد آن می‌شود (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵).

داشتن اطلاع دقیقی از تأثیر آب و کود مصرفی بر عملکرد و کارایی مصرف آب این گیاه زراعی، نیازمند انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای بسیار در هر منطقه از کشور و صرف وقت و هزینه بسیار است. به همین دلیل می‌بایست از روش‌های جایگزین مانند مدل‌سازی رشد گیاه استفاده کرد (Gert and Raes, 2009; Raes et al., 2009).

مدل AquaCrop به عنوان یکی از مناسب‌ترین مدل‌های گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان مختلف زراعی توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) معرفی شده است. این مدل به دلیل ویژگی‌هایی مانند سادگی، نیاز به داده‌های کم، دقت بالا و کاربرپسند بودن (Heng et al., 2009; Todorovic et al., 2009; Raes et al., 2009)

توسط محققان مختلف مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات انجام شده روی محصولات جو (Arraya et al., 2010)، ذرت و چغندر (Stricevic et al., 2011)، گندم (Alizadeh et al., 2011)، ذرت (Heng et al., 2009; Hsiao et al., 2009; Masanganise et al., 2013; Katerji et al., 2013)، گندم (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰)، زعفران (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۷)، کلزا (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۸) و آفتابگردان (حیدری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره کرد. کلیه این محققان به دقت بالای این مدل اشاره کرده‌اند. در شرایط اعمال تنش‌های مختلف نیز این مدل دقت قابل قبولی داشته است به طوری که محققانی مانند احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2015) و آریا و همکاران (Arraya et al., 2010) به این موضوع در تحقیقات خود اشاره کرده‌اند. در نسخه‌های اخیر مدل AquaCrop قابلیت شبیه‌سازی تنش کودی نیز به این مدل اضافه شده است. گرچه این مدل قادر به تشخیص نوع کود نیست لیکن با استفاده از یک مدل خودکار می‌توان اثر کود بر عملکرد گیاهان زراعی را واسنجی و سپس مورد استفاده قرار داد (Van Gaelen et al., 2014). این مدل توسط فان گائلن و همکاران (Van Gaelen et al., 2014) برای شبیه‌سازی مقدار کود بر عملکرد گیاهان ذرت، گندم، تف و کینوا بررسی مورد ارزیابی قرار گرفت. این محققان نشان دادند که مدل AquaCrop از دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان مورد مطالعه برخوردار بود. سایر محققان از جمله آکوغاما و همکاران (Akugama et al., 2017) 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.

در خصوص استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گوجه‌فرنگی تاکنون تحقیقاتی زیادی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات انصاری و همکاران (۱۳۹۳) در مشهد، کاترجی و همکاران (Katerji et al., 2013) در هندوستان، اوپوکودارکو و همکاران (Opoku Darko et al., 2016) در کشور غنا و

انجام شد. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل مقدار آبیاری در چهار سطح (E1: ۵۰، E2: ۷۵، E3: ۱۰۰ و E4: ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) و مقدار کود مصرفی در سه سطح (F1: ۷۰ درصد نیاز کودی، F2: ۱۰۰ درصد نیاز کودی گیاه و F3: ۴۰ درصد نیاز کودی) انجام شد. ابتدا خزانه برای کشت گوجه‌فرنگی رقم فلات در اسفند ماه آماده شد. در خرداد ماه نشاها در مزرعه تحقیقاتی کاشته شدند. کرت‌های آزمایشی در ابعاد ۲/۵ × ۵ مترمربع در ۴ ردیف و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های ۵۰ سانتی‌متر در هر ردیف آماده شد. بلافاصله پس از کاشت آبیاری انجام شد. مشخصات خاک زراعی و آب آبیاری به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

لینکر و همکاران (Linker et al., 2016) در اتحادیه اروپا اشاره کرد.

بررسی منابع نشان داد که علی‌رغم مطالعات متعددی که با استفاده از مدل AquaCrop انجام شده است؛ تاکنون دقت این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف تأمین آب و کود نیتروژن بررسی نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر مدیریت‌های مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن بر دقت و کارایی مدل AquaCrop انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی اسماعیل‌آباد در دشت قزوین

جدول (۱): برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	EC	pH	رطوبت در ظرفیت زراعی	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم	جرم مخصوص ظاهری
Cm	Ppm	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	dS.m ⁻¹	-	cm ³ .cm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³	g.cm ⁻³
۵۰-۰	۳۶	۸	۴	۰/۷۴	۷/۱	۰/۳۲	۰/۱۱	۱/۴۴
۱۰۰-۵۰	۲۸	۲	۵	۰/۸۷	۸	۰/۳۵	۰/۱۳	۱/۵۳

جدول (۲): نتایج تجزیه کیفیت آب آبیاری

EC	pH	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کربنات بی‌کربنات	کلر	سولفات
dS.m ⁻¹	-	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹
۲/۹	۷/۳	۲۰۰	۱۰۸	۲۸۰	۴/۶۸	۰	۶۰۶/۳۵	۷۷۷/۶

تعیین شد. سپس بر اساس کسر رطوبتی خاک برای هر تیمار آبیاری، حجم آب آبیاری توسط کنتور اندازه‌گیری شده و به داخل هر کرت انتقال داده شد (رابطه ۲).

$$I = (FC - \theta_r) \times D_{rz} \times \rho_b \quad (1)$$

$$V = I \times A \quad (2)$$

در روابط بالا، I عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، FC مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی (درصد وزنی)، θ_r رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد وزنی)، Drz عمق ناحیه ریشه (میلی‌متر)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، V حجم آب آبیاری (لیتر) و A

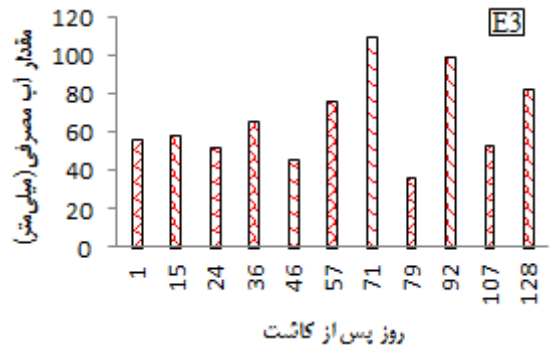
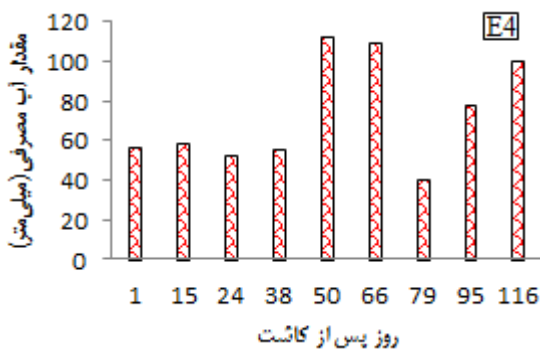
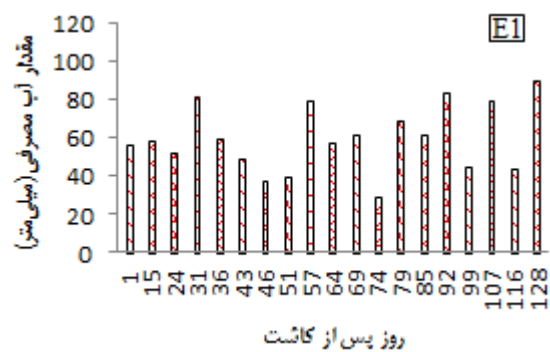
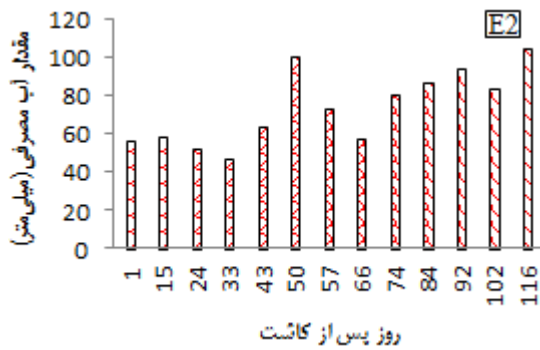
پس از استقرار گیاهان عملیات تنک کردن و خاک‌دهی پای بوته‌ها صورت گرفت. براساس آزمون خاک، تمام مقادیر کود پتاسیم و یک‌سوم کود اوره قبل از کاشت به صورت نواری مصرف گردید. یک‌سوم مابقی کود اوره قبل از تشکیل گل و یک‌سوم نهایی بعد از چین اول به زمین داده شد. کود کلسیم نیز قبل از گل‌دهی و پس از تشکیل میوه (در سه نوبت و با فواصل دو هفته‌ای) محلول‌پاشی شد.

میزان آب آبیاری با سنجش رطوبت خاک با استفاده از تانسومتر به صورت روزانه و با استفاده از رابطه (۱)

در این رابطه، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم) و W مقدار آب مصرفی (متر مکعب) است. پس از برداشت، وزن نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه واقع در مرکز تحقیقات اسماعیل آباد سنجیده شد. سپس شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی با استفاده از مدل AquaCrop انجام شد

مساحت هر کرت (متر مربع) است. میزان آب آبیاری برای تیمارهای مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است. با استفاده از میزان آب آبیاری، کارایی مصرف آب براساس رابطه (۳) محاسبه شد.

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (3)$$



شکل (۱): مقدار آب آبیاری برای هر تیمار (E1, E2, E3, E4) به ترتیب نشان دهنده آبیاری براساس ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر از نشت کلاس (A)

تبخیر تعرق است. وزن و زیست‌توده کل گوجه‌فرنگی به ترتیب از روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند.

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

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (6)$$

که در این روابط، Tr مقدار کل تعرق روزانه (میلی‌متر) در طول فصل زراعی (رابطه ۷)، WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع

این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان مختلف از رابطه (۴) استفاده می‌کند (Raes et al., 2009).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} \right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x} \right) \quad (4)$$

که در آن، Y_x و Y_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول (تن در هکتار)، ET_x و ET_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر) و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش

داده ورودی پایه می‌باشد. برای تحلیل حساسیت مدل به هر پارامتر، در هر مرحله یکی از عوامل ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد تغییر داده شد و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شدند (Geerts and Raes, 2009). در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $Sc > 15$ حساسیت بالا، $2 < Sc < 15$ حساسیت متوسط و $Sc < 2$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد. پارامترهای با حساسیت بیشتر از دو و پارامترهای مرتبط با تنش کودی به منظور واسنجی این مدل در نظر گرفته شدند.

ابتدا مدل بر اساس شرایط بدون تنش کودی و با استفاده از کلیه تیمارهای آبی در سال اول واسنجی شد. سپس به منظور واسنجی مدل تحت شرایط تنش کودی، نیاز بود تا ضرایب کاهش توسعه پوشش، حداکثر پوشش، متوسط کاهش و درصد کاهش بهره‌وری آب نرمال شده تعیین گردند. بدین منظور بر اساس دستورالعمل ارائه شده توسط فان گوئلن و همکاران (Van Gaelen et al, 2014) از مقادیر تنش کودی در شرایط حداکثر (F3) در هر دو سال زراعی استفاده شد. بنابراین صحت‌سنجی این مدل با استفاده از دو مقدار کودی (F1 و F2) و چهار سطح آبیاری (E1 تا E4) انجام شد. به منظور ارزیابی بهتر اثر کود و مقدار آب آبیاری بر دقت و کارایی مدل AquaCrop، پنج سناریو در مرحله صحت‌سنجی به صورت زیر تعریف شد:

سناریو ۱: در نظر گرفتن همه تیمارهای آبیاری (E1, E2, E3 و E4) و کودی (F1 و F2)
سناریو ۲: در نظر گرفتن تیمارهای تنش خفیف آبی (E1 و E2) و همه تیمارهای کودی (F1 و F2)
سناریو ۳: در نظر گرفتن تیمارهای تنش شدید آبی (E3 و E4) و همه تیمارهای کودی (F1 و F2)
سناریو ۴: در نظر گرفتن همه تیمارهای آبیاری (E1, E2, E3 و E4) و تیمار با تنش کودی (F1)
سناریو ۵: در نظر گرفتن همه تیمارهای آبیاری (E1, E2, E3 و E4) و تیمار بدون تنش کودی (F2)
معیار اندازه‌گیری دقت این مدل در مرحله صحت‌سنجی بر اساس آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین

(میلی‌متر)، Y و B به ترتیب عملکرد (تن در هکتار)، زیست‌توده خشک (تن در هکتار) و HI شاخص برداشت (-) است.

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (7)$$

که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش و گیاهی و CC توسعه پوشش تاج از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه (رابطه ۸) هستند.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC \cdot t} \quad (8)$$

در این رابطه، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. در این مدل، شدت تنش آبی (K_s) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. در واقع در صورت تنش آبی میزان تاج پوشش گیاهی کاهش یافته و به تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد. این 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 (Brel) بر حسب درصد با توجه به رابطه (۹) انجام می‌شود.

$$B_{rel} = \frac{B_{stress}}{B_{ref}} \times 100 \quad (9)$$

که در آن، Brel کل زیست‌توده خشک در شرایط بدون تنش و Bstress مقدار زیست‌توده به دست آمده پس از اعمال تنش است. به منظور ارزیابی دقت مدل AquaCrop، ابتدا حساسیت این مدل به پارامترهای مختلف ورودی سنجیده شد. بدین منظور از رابطه ارائه شده توسط Geerts and Raes (2009) استفاده شد (رابطه ۱۰).

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (10)$$

که در آن، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد پارامتر مورد نظر براساس

۲/۳-۰/۱۰ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت و منفی آماره MBE به ترتیب نشان دهنده بیش برآوردی و کم برآوردی مدل AquaCrop برای پارامتر مورد نظر است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان دهنده 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 نشان دهنده برازش بهتر داده‌ها است.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در جدول ۳ ارائه شده است نتایج نشان داد که مدل به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشت. نتایج به دست آمده از این پژوهش با مشاهدات برخی پژوهشگران مانند محمدی و همکاران (۱۳۹۴)، ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۷) و (۱۳۹۸) و احمدی و همکاران (۱۴۰۰) مطابقت داشت. بر اساس نتایج به دست آمده، عمده پارامترهای ورودی به منظور واسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج واسنجی نیز در جدول (۴) مشاهده می‌شود. البته برخی پارامترها نیز که برای همه مناطق و شرایط یکسان هستند به صورت پیش فرض باقی گذاشته شدند.

خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) بود. این آماره‌ها به ترتیب در رابطه‌های (۱۱) تا (۱۶) نشان داده شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (11)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i}} \quad (12)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (13)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (14)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (15)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (16)$$

در معادله‌های فوق P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده دقت عالی مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۱-۰/۲،

جدول (۳): ضریب حساسیت برخی پارامترهای مدل AquaCrop

پارامتر	مقدار Sc در حالت +۰/۲۵	مقدار Sc در حالت -۰/۲۵	درجه حساسیت
رطوبت در ظرفیت زراعی	۶/۳	۵/۵	متوسط
رطوبت در نقطه پژمردگی	۲/۷	۲/۲	متوسط
دمای حداقل	۰/۵	۰/۵	کم
دمای حداکثر	۲/۴	۳/۰	متوسط
بارندگی	۱/۴	۳/۷	متوسط
ضریب گیاهی برای تعرق	۶/۱	۴/۰	متوسط
عمق ریشه	۲/۹	۲/۰	متوسط
دمای بالا برای رشد	۱/۵	۲/۱	متوسط
دمای پایین برای جوانه‌زنی	۳/۷	۳/۱	متوسط

جدول (۴): برخی پارامترهای واسنجی شده مدل AquaCrop

پارامتر	واحد	مقدار	توضیحات
تراکم کشت	بوته در هکتار	۲۸۰۰۰	اندازه گیری
دمای بالا	درجه سانتی گراد	۲۸	پیش فرض
دمای پایه	درجه سانتی گراد	۷	پیش فرض
ضریب رشد پوشش	-	۱۲/۳	پیش فرض
ضریب کاهش پوشش	-	۷/۲	پیش فرض
بهره‌وری آب نرمال شده	گرم بر متر مربع	۱۸	پیش فرض
زمان ظهور جوانه‌ها	روز بعد از کاشت	۵	واسنجی
زمان بیشینه پوشش گیاهی	روز بعد از کاشت	۵۱	واسنجی
زمان پیری	روز بعد از کاشت	۷۸	واسنجی
زمان بلوغ	روز بعد از کاشت	۱۱۱	واسنجی
زمان شروع گلدهی	روز بعد از کاشت	۳۵	واسنجی
حداکثر عمق ریشه	سانتی متر	۱۰۰	واسنجی
سطح آستانه بالا تخلیه آب خاک برای گسترش تاج پوشش	-	۰/۱۰	واسنجی
سطح آستانه پایین تخلیه آب خاک برای گسترش تاج پوشش	-	۰/۵۵	واسنجی
سطح آستانه بالا تخلیه آب خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	-	۰/۴۵	واسنجی
عامل شکل برای ضریب تنش آبی	-	خطی	پیش فرض
ضریب کاهش توسعه پوشش*	درصد	۴۰	واسنجی
ضریب حداکثر پوشش*	درصد	۲۵	واسنجی
ضریب متوسط کاهش*	درصد بر روز	۰/۴۵	واسنجی
ضریب درصد کاهش بهره‌وری آب نرمال شده*	درصد	۲۰	واسنجی

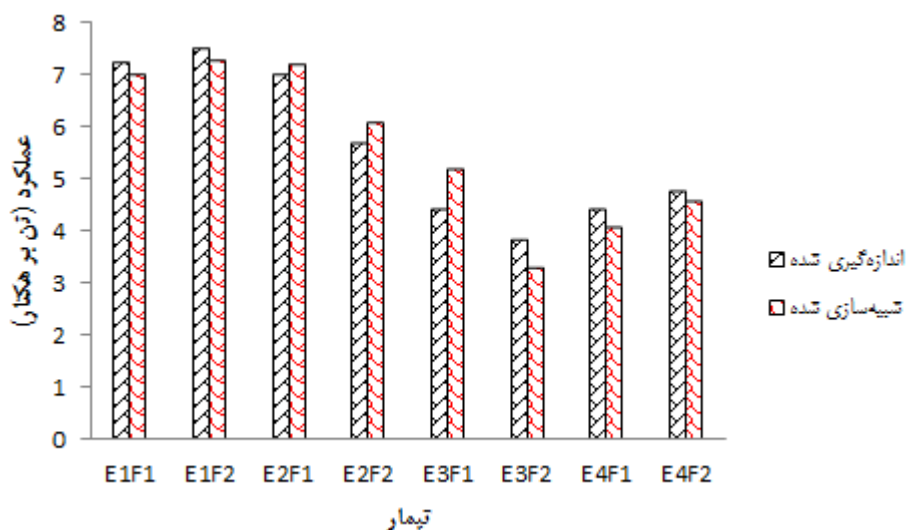
* این پارامترها با استفاده از مقادیر تنش کودی در کمترین و بیشترین حالت واسنجی شدند.

مترمکعب مشاهده شد. میانگین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز برابر با ۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای عملکرد گوجه‌فرنگی نشان داد که رابطه خطی مثبت بین مقادیر مورد بررسی وجود داشت (شکل ۴). مقادیر گزارش شده برای پارامتر R^2 توسط محققان دیگر در بازه‌های بین ۰/۵ تا ۰/۹۵ بوده است. به عنوان مثال خرسند و همکاران (۱۳۹۳) در شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط تنش آبی با استفاده از مدل AquaCrop مقدار ۰/۹۵ را برای این آماره گزارش کردند در حالی که وطن‌خواه و ابراهیمیان (۱۳۹۵) و محمدی و همکاران (۱۳۹۴) به ترتیب مقادیر ۰/۹۲ و ۰/۷۹ را برای

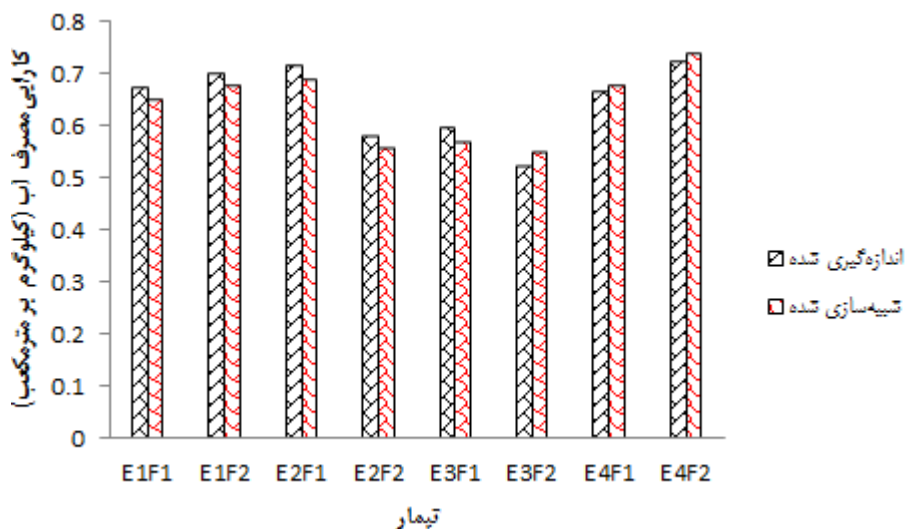
ارزیابی نتایج به دست آمده از مدل AquaCrop بر عملکرد گوجه‌فرنگی در شکل (۲) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در تیمارهای E3F1 (۰/۷۸- تن در هکتار) و E4F2 (۰/۲ تن در هکتار) مشاهده شد. میانگین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز برابر با ۰/۳۶ تن بر هکتار بود. نتایج به دست آمده برای پارامتر کارایی مصرف آب در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در تیمارهای E3F1 و E4F1 و با مقادیر ۰/۰۳ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر

همبستگی مناسب بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر اعتماد کرد.

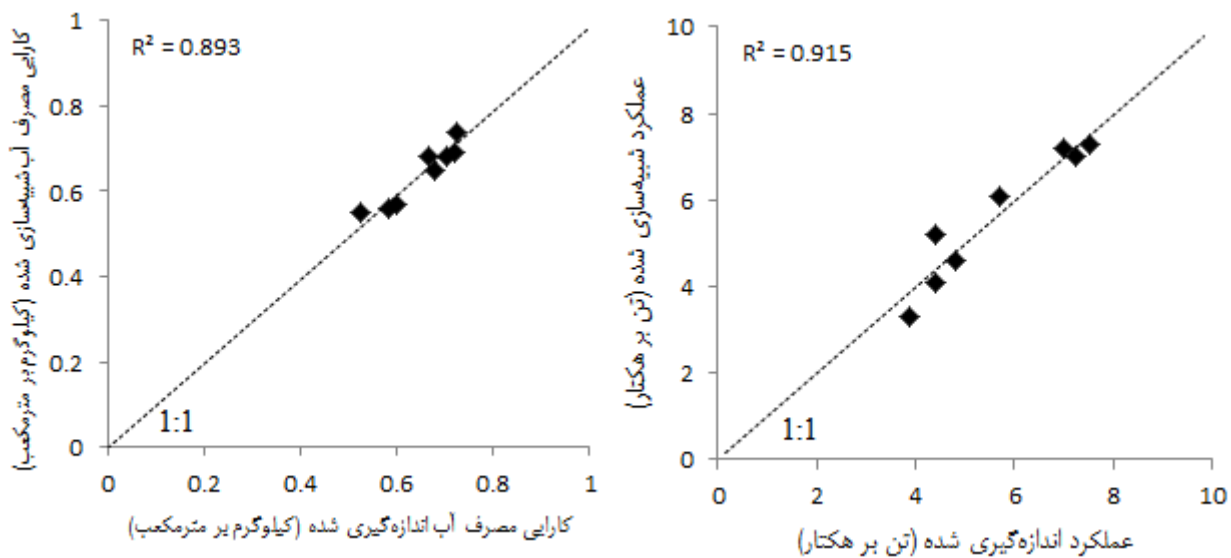
این آماره گزارش کردند. نتایج حاصل میزان همبستگی برای عملکرد و کارایی مصرف آب را به ترتیب برابر با ۰/۹۱۵ و ۰/۸۹۳ به دست آورد. بنابراین می‌توان به



شکل (۲): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد گوجه‌فرنگی (E1, E2, E3 و E4 به ترتیب نشان دهنده آبیاری براساس ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و F1 و F2 به ترتیب نشان دهنده مصرف کود براساس ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی است)



شکل (۳): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی (E1, E2, E3 و E4 به ترتیب نشان دهنده آبیاری براساس ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و F1 و F2 به ترتیب نشان دهنده مصرف کود براساس ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی است)



شکل (۴): همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی

در سناریو ۲ و با حذف مقادیر بالای تنش آبی (E3 و E4)، مدل دچار کم‌برآوردی شد ولی دقت مدل نسبت به سناریو ۱ افزایش یافت. این نتایج با مشاهدات به دست آمده از تحقیقات وطن‌خواه و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی و همکاران (۱۳۹۴)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۹)، احمدی و همکاران (۱۴۰۰)، ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۷) و Andarzian et al., (۱۳۹۸) و اندرزبان و همکاران (2011) همخوانی داشت. کلیه این محققان گزارش کردند که دقت مدل AquaCrop در شرایط تنش آبی کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده در شکل (۱)، اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تیمار E1 به صورت متوسط برابر با ۲ درصد بود. این مقدار در تیمار E4 برابر با ۵ درصد به دست آمد. به همین دلیل گرچه اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تیمار E1 بزرگتر از E4 بود؛ لیکن اگر این اختلاف نسبت به مقدار مشاهداتی در همان تیمار بررسی شود تغییرات کوچک می‌باشد. با این وجود کارایی مدل AquaCrop در سناریو ۲ نسبت به سناریو ۱ کاهش یافت. بنابراین گرچه دقت این مدل در شرایط تنش آبی ضعیف است لیکن کارایی این مدل با توجه به نتایج به دست آمده از کلیه تیمارها (سناریو ۱) قابل قبول است. با در نظر گرفتن تیمارهای E3 و E4 (سناریو ۳)، دقت مدل

نتایج آماره‌های مورد استفاده در مرحله صحت‌سنجی در جدول (۵) ارائه شده است. به منظور مقایسه سناریوهای مختلف شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب توسط مدل AquaCrop، کلیه سناریوها در جدول (۵) نشان داده شده است. در سناریو ۱ که شامل در نظر گرفتن کلیه تیمارها (دو تیمار کودی و چهار تیمار آبیاری) بود، مقدار آماره MBE برای عملکرد برابر با ۰/۰۲- تن در هکتار به دست آمد. این مقدار نشان دهنده بیش‌برآوردی مدل AquaCrop بود. برخی محققان مانند کاترجی و همکاران (Katerji et al., 2013)، هنگ و همکاران (Heng et al., 2009)، احمدی و همکاران (Hsiao et al., 2015)، هسیائو و همکاران (Ahmadi et al., 2015)، احمدی و همکاران (al., 2009)، حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) و همکاران (۱۳۹۴) نیز به بیش‌برآوردی این مدل در تعیین عملکرد گیاهان زراعی اشاره کرده‌اند. حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۴) علت بیش‌برآوردی را قلیابیت آب آبیاری مورد استفاده بیان کردند. این نتایج براساس جدول (۲) قابل توجیه است. مقادیر آماره‌های RMSE و NRMSE برای سناریو ۱ نشان داد که مدل AquaCrop دقت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد گوجه‌فرنگی داشت. کارایی مدل AquaCrop نیز بر اساس دو آماره EF و d قابل قبول بود.

خطای بیش‌برآوردی شد. دقت مدل نیز در این سناریو قابل قبول و کارایی مدل بر اساس آماره‌های EF و d و مطلوب بود. با تغییر تیمارهای آبیاری در سناریوهای ۲ و ۳ و همچنین تغییر تیمارهای کودی در سناریوهای ۴ و ۵، دقت مدل نسبتاً کاهش یافت ولی قابل چشم‌پوشی بود. بهترین کارایی مدل AquaCrop برای عملکرد گوجه‌فرنگی در سناریو ۲ مشاهده شد که با توجه به نتایج به دست آمده برای عملکرد گوجه‌فرنگی قابل توجیه است. بدترین کارایی نیز در دو سناریو ۳ و ۵ مشاهده شد. براساس نتایج، دقت مدل در تعیین کارایی مصرف آب در شرایط تنش آبی و کودی اندکی کاهش یافت.

به شدت نسبت به دو سناریو ۱ و ۲ کاهش داشت. مدل در این سناریو دچار خطای بیش‌برآوردی عملکرد شد ولی کارایی آن تقریباً مشابه سناریو ۱ بود. با در نظر گرفتن کلیه تیمارهای آبیاری و تیمار F1 (سناریو ۴) دقت مدل نسبت به سناریو ۱ نسبتاً کاهش یافت. مدل در شرایط در نظر گرفتن تنش کودی (سناریو ۵) دقت کمتری نسبت به سناریو ۲ داشت. نتایج مشابه در سناریوهای مشابه برای پارامتر کارایی مصرف آب در جدول (۳) مشاهده می‌شود.

براساس نتایج به‌دست آمده، در سناریو ۱ که کلیه تیمارهای آبیاری و کودی در نظر گرفته شد؛ مدل دچار

جدول (۵): نتایج آماره‌های مورد استفاده برای عملکرد (تن بر هکتار) و کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) تحت سناریوهای مختلف

پارامتر	سناریو	شماره سناریو	MBE	RMSE	NRMSE	EF	D
عملکرد (تن بر هکتار)	E1-E4 و F1-F2	۱	-۰/۰۲	۰/۴۲	۰/۰۷	۰/۴۱	۰/۹۹
	E1-E2 و F1-F2	۲	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۰۲	-۹/۳	۰/۹۹
	E3-E4 و F1-F2	۳	-۰/۰۷	۰/۵۱	۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۹۹
	E1-E4 و F1	۴	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۰۸	-۴/۲	۰/۹۹
	E1-E4 و F2	۵	-۰/۱۴	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۵۶	۰/۹۹
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	E1-E4 و F1-F2	۱	-۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۹۹
	E1-E2 و F1-F2	۲	-۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۷۵	۰/۹۹
	E3-E4 و F1-F2	۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	-۱/۸	۰/۹۹
	E1-E4 و F1	۴	-۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۴۹	۰/۹۹
	E1-E4 و F2	۵	-۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	-۱۳	۰/۹۹

اندکی کاهش یافت لیکن دقت آن در کلیه سناریوها قابل قبول بود. این مدل به دلیل نیاز به داده‌های کم و واسنجی راحت، قابلیت استفاده برای شبیه‌سازی گیاه گوجه‌فرنگی را دارد. در نهایت بر اساس نتایج به‌دست آمده و خصوصیات مدل AquaCrop، پیشنهاد می‌شود از آن برای شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری و کودی گیاه گوجه‌فرنگی استفاده شود.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مدل AquaCrop دقت مناسبی در تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه گوجه‌فرنگی تحت برنامه‌ریزی‌های مختلف آبیاری و کودی داشت. گرچه دقت مدل AquaCrop در برخی سناریوها

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، احمدی، م.، اگدرنژاد، ا.، و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف ژئولیت. حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۱): ۱۱۷-۱۳۲.



- ابراهیمی پاک، ن. ع.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ.، و احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های WOFOST، AquaCrop و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳-۷۵): ۷۲۶-۷۱۵.
- احمدی، م.، ع.، خاشعی سیوکی و م. ح. سیاری. ۱۳۹۵. بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (*Crocus sativus L.*) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارده. بوم‌شناسی کشاورزی، ۸(۴): ۵۲۰-۵۰۵.
- احمدی، م.، قنبرپوری، م.، و اگدرنژاد، ا. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۱): ۳۰-۱۵.
- انصاری، ح.، سالاریان، م.، سالاریان، م.، تکرلی، ع.، و بایرام، م. ۱۳۹۳. تعیین عمق بهینه آبیاری محصول گندم و گوجه‌فرنگی به کمک مدل AquaCrop (مطالعه موردی مشهد)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۸): ۸۶-۹۵.
- تافته، آ.، ابراهیمی پاک، ن.، بابازاده، ح.، و کاوه، ف. ۱۳۹۲. ارزیابی توابع تولید برای برآورد عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف آبیاری در قزوین. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۳): ۳۱۵-۳۲۸.
- 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.
- حیدری‌نیا، م.، ناصری، ع.، و برومندنسب، س. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مهندسی منابع آب. ۱۵(۱): ۴۱-۳۹.
- خرسند، ا.، وردی‌نژاد، و.، و شهیدی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم‌آبیاری. مدیریت آب و آبیاری. ۴(۱): ۱۰۴-۸۹.
- رنجبر، آ. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی توأمان آب، نیتروژن و عملکرد محصول به منظور تعیین شاخص تغذیه نیتروژن در دوره رشد ذرت. رساله دکتری، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. پاکدشت.
- ضیایی غ.، بابازاده ح.، عباسی ح. و کاوه ف. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize در برآورد اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۵(۴): ۴۴۵-۴۳۵.
- علیزاده، ح. ع.، نظری، ب.، پارس‌نژاد، م.، رضانی‌اعتدالی، ه. و جانباز، ح. ر. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در کرج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲۴(۲): ۲۸۳-۲۷۳.
- فیض‌آبادی، م.، قهرمانی، ز.، برزگر، ط. و گلچین، ا. ۱۳۹۵. تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و تغذیه نیتروژن بر شاخص‌های رشدی نشای گوجه‌فرنگی رقم Rio Grande. به‌زراعی کشاورزی. ۱۸(۳): ۵۸۰-۵۶۹.
- 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.
- 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., and 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.
- Ahmadi S. H., Mosallaepour E., Kamgar-Haghighi A.K., and Sepaskhah, A. R. 2015. Modeling maize yield and soil water content with AquaCrop under full and deficit irrigation managements. Water Resource Management. 29: 2837-2853.
- 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.



- Andarziana, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeha, 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*, 100:1-8.
- Araya A., Solomon H., Kiros M.H., Afewerk K., and Taddese, D. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Manage.* 97: 1838-1846.
- Farre, F., and Faci, J.M., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*. 96: 384-394.
- Geerts, S., and Raes, D. 2009. Deficit 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., and 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., and Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*. 101(3): 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.
- Linker, R., Ioslovich, I., Sylaios, G., Plauborg, F., and Battilani, A. 2016. Optimal model-based deficit irrigation scheduling using AquaCrop: A simulation study with cotton, potato, and tomato. *Agricultural Water Management*. 163: 236-243.
- 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.
- Opoku Darko, R., Shouqi, Y., Haofang, Y., Junping, L. and Abbey, A. 2016. Calibration and validation of AquaCrop for deficit and full irrigation of tomato. *International Journal of Agriculture and Biological Engineering*. 9(3): 104-110.
- Pascual, B. J. V., Maroto, A. San Sbutista, S. G, Lopez, J. Alagarod. 2000. In fluence of watering on the yield and cracking of cherry fresh market and processing tomatos. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75: 171-175.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., and 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.
- 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.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M. T., and Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, Cropsyst, and WOFOST Models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*. 101(3): 509-521.
- Van Gaelen, H., Tsegay, A., Delbecque, N., Shrestha, N., Garcia, M., Fajardo, H., Miranda, R., Vanuytrecht, E., Ahrha, B., Diels, J and Raes, D. 2014. A semi-quantitative approach for modelling crop response to soil fertility: evaluation of the Aqua crop procedure. *Journal of Agricultural Science*. 153(7): 1–16.



The Effect of Irrigation Water Management and Fertilizer Amount on AquaCrop Accuracy and Efficiency for Tomato Yield and Water Use Efficiency Simulation

Niaz Ali Ebrahimipak ^{1*}, Aslan Egdernezhad ², Arash Tafteh ³, Mohammad Ali Ansari ⁴

Abstract:

Irrigation water and nitrogen fertilizer management have an effective effect on tomato yield and water use efficiency. So, it is important to know the best amount of irrigation and nitrogen fertilizer for tomato cultivation. Since doing farm researches need time and funds, it is necessary to use crop growth models like AquaCrop. Regarding that, data collected from Ismaeel Abad research station was used. The study was conducted there, irrigation was considered as four levels (E1: 50, E2: 75, E3: 100, and E4: 125 mm evaporation from pan class A) and fertility uses was considered as three levels (F1: 70, F2:100, and F3: 40 percent as fertility needed). At first, AquaCrop was calibrated without considering any fertility stresses using first year data. Then, F3 treatment in the first and second year was used to calibrate AquaCrop for fertility stress (40 percent as fertility needed). Results showed high correlation between observation and simulation values for yield ($R^2=0.915$) and water use efficiency ($R^2=0.893$). MBE, RMSE and NRMSE values showed a good precision for the model. The mentioned values were -0.02 ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), 0.42 ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) and 0.07 for yield, respectively, and -0.01 ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), 0.02 ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) and 0.03 for water use efficiency, respectively. Due to AquaCrop efficiency for simulating tomato yield ($EF=0.41$) and water use efficiency ($EF=0.19$), it is recommended to use AquaCop for simulating tomato yield and water use efficiency.

Key words: Fertility Stress, Deficit Irrigation Scenarios, Water Use Efficiency, Crop Growth Model.

¹ Associated Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.

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

³ Assistant professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.

⁴ Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Research Paper

The Effect of Irrigation Water Management and Fertilizer Amount on AquaCrop Accuracy and Efficiency for Tomato Yield and Water Use Efficiency Simulation

Niaz Ali Ebrahimipak ^{*1}, Aslan Egdernezhad ², Arash Tafteh ³, Mohammad Ali Ansari ⁴

¹ Associated Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.

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

³ Assistant professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.

⁴ Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.



10.22125/IWE.2020.243948.1405

Received:
August.15.2020
Accepted:
November.29.2020
Available online:
March.13.2022

Keywords:
Fertility Stress,
Deficit Irrigation
Scenarios, Water Use
Efficiency, Crop
Growth Model

Abstract

Irrigation water and nitrogen fertilizer management have an effective effect on tomato yield and water use efficiency. So, it is important to know the best amount of irrigation and nitrogen fertilizer for tomato cultivation. Since doing farm researches need time and funds, it is necessary to use crop growth models like AquaCrop. Regarding that, data collected from Ismaeel Abad research station was used. The study was conducted there, irrigation was considered as four levels (E1: 50, E2: 75, E3: 100, and E4: 125 mm evaporation from pan class A) and fertility uses was considered as three levels (F1: 70, F2:100, and F3: 40 percent as fertility needed). At first, AquaCrop was calibrated without considering any fertility stresses using first year data. Then, F3 treatment in the first and second year was used to calibrate AquaCrop for fertility stress (40 percent as fertility needed). Results showed high correlation between observation and simulation values for yield ($R^2=0.915$) and water use efficiency ($R^2=0.893$). MBE, RMSE and NRMSE values showed a good precision for the model. The mentioned values were -0.02 (ton.ha-1), 0.42 (ton.ha-1) and 0.07 for yield, respectively, and -0.01 (ton.ha-1), 0.02 (ton.ha-1) and 0.03 for water use efficiency, respectively. Due to AquaCrop efficiency for simulating tomato yield (EF=0.41) and water use efficiency (EF=0.19), it is recommended to use AquaCop for simulating tomato yield and water use efficiency.

* **Corresponding Author:** Niaz Ali Ebrahimipak

Address: Associated Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.

Email: nebrahimipak@yahoo.com

Tel: +98 912 181 7169

1. Introduction

Tomato is one of the most important summer vegetables in the world and Iran is known as its seventh producer. This crop, like other summer crops, responds well to adequate water supply and nitrogen fertilizer, and the lack of these two factors causes a severe reduction in its yield. Having accurate information about the effect of water and fertilizer consumption on the yield and water use efficiency of this crop, requires many field experiments in any region of the country and a lot of time and money. For this reason, alternative methods such as plant growth modeling should be used. The AquaCrop model has been introduced as one of the most suitable plant models to simulate the yield of different crops by the Food and Agriculture Organization (FAO). This model has been considered by various researchers due to features such as simplicity, low data requirements, high accuracy and user-friendliness. Despite numerous studies using the AquaCrop model; so far, the accuracy of this model in simulating the performance and efficiency of tomato juice consumption under different conditions of water supply and nitrogen fertilizer has not been investigated. Therefore, the present study was conducted to evaluate the effect of different irrigation water and nitrogen fertilizer managements on the accuracy and efficiency of the AquaCrop model.

2. Materials and Methods

The present study was conducted as a split plot design in the form of randomized complete blocks with three replications in two cropping years in Esmaeilabad research farm in Qazvin plain. The treatments used in this study include the amount of irrigation at four levels (E1: 50, E2: 75, E3: 100 and E4: 125 mm evaporation from the evaporation pan of class A) and the amount of fertilizer used at three levels (F1: 70% of fertilizer requirement F2: 100% of plant fertilizer requirement and F3: 40% of fertilizer requirement). First, the model was calibrated based on conditions without fertilizer stress and using all aqueous treatments in the first year. Then, in order to calibrate the model under fertilizer stress conditions, it was necessary to determine the coefficients of reduction of cover development, maximum coverage, average reduction and percentage of reduction of normalized water productivity. For this purpose, according to the instructions provided by Van Gaelen et al. (Van Gaelen et al, 2014), the values of fertilizer stress under maximum conditions (F3) in both cropping years were used. Therefore, the validity of this model was performed using two amounts of fertilizer (F1 and F2) and four irrigation levels (E1 to E4). In order to better evaluate the effect of fertilizer and the amount of irrigation water on the accuracy and efficiency of the AquaCrop model, five scenarios in the validation stage were defined as follows:

Scenario 1: Consider all irrigation treatments (E1, E2, E3 and E4) and fertilizer (F1 and F2)

Scenario 2: Consider light water stress treatments (E1 and E2) and all fertilizer treatments (F1 and F2)

Scenario 3: Consider severe water stress treatments (E3 and E4) and all fertilizer treatments (F1 and F2)

Scenario 4: Consider all irrigation treatments (E1, E2, E3 and E4) and fertilizer stress treatment (F1)

Scenario 5: Consider all irrigation treatments (E1, E2, E3 and E4) and treatment without fertilizer stress (F2)

Criteria for measuring the accuracy of this model in the validation stage based on the statistics of root mean square error (RMSE), root mean square normalized (NRMSE), mean oblique error (MBE), model efficiency (EF), Wilmut agreement index (d) and coefficient of explanation (R²) was.

3. Results

The highest and lowest differences between the observed and simulated values were observed in E3F1 (-0.78 ton.ha⁻¹) and E4F2 (0.2 ton.ha⁻¹) treatments, respectively. The average difference between the observed and simulated values was 0.36 tons per hectare. The highest and lowest differences between the observed and simulated values were observed in E3F1 and E4F1 treatments with values of 0.03 and 0.01 kg.m⁻³, respectively. The average difference between the observed and simulated values was 0.02 kg.m⁻³. The values of RMSE and NRMSE statistics for Scenario 1 showed that the AquaCrop model had good accuracy for simulating tomato yield. The performance of the AquaCrop model was also acceptable based on two statistics, EF and d. In Scenario 2, by removing high values of water stress (E3 and E4), the model was underestimated, but the accuracy of the model increased compared to Scenario 1. Considering the treatments E3 and E4 (Scenario 3), the accuracy of the model was significantly reduced compared to scenarios 1 and 2. The model suffered from an overestimation of performance

error in this scenario, but its performance was almost similar to Scenario 1. Considering all irrigation treatments and F1 treatment (Scenario 4), the accuracy of the model was relatively reduced compared to Scenario 1. The model was less accurate than Scenario 2 in terms of fertilizer stress (Scenario 5).

4. Discussion and Conclusion

The results of the present study showed that the AquaCrop model had good accuracy in determining the yield and water use efficiency of tomato plants under different irrigation and fertilizer scheduling. Although the accuracy of the AquaCrop model decreased slightly in some scenarios, its accuracy was acceptable in all scenarios. This model can be used to simulate the tomato plant due to the need for low data and easy calibration. Finally, based on the obtained results and the characteristics of the AquaCrop model, it is suggested that it be used to simulate irrigation planning and fertilizer of tomato plants

5. Six important references

1. 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 with extended abstract in English).
- 2 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.
3. Araya A., Solomon H., Kiros M.H., Afewerk K., and Taddese, D. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Manage.* 97: 1838-1846.
4. 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.
5. 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. A semi-quantitative approach for modelling crop response to soil fertility: evaluation of the Aqua crop procedure. *Journal of Agricultural Science*. 153(7): 1–16.
6. Vanuytrecht,E., Abrha,B., Diels,J and Raes,D. 2014. A semi-quantitative approach for modelling crop response to soil fertility: evaluation of the Aqua crop procedure. *Journal of Agricultural Science*. 153(7): 1–16.

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.