مجله علوم به زراعی گیاهی
دوره هشتم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷

ارزیابی مدل‌های گیاهی AquaCrop و WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت شرایط کم‌آبیاری

اصلان اگدرنژاد[1*]، علیرضا مسجدی [2]، علیرضا شکوه فر [3]، مجتبی علوی فاضل [4]

۱- نویسنده مسئول: استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳- استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۴- دانشیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
مسئول مکاتبات؛ پست الکترونیک: a_eigder@ymail.com

(تاریخ دریافت: ۱۵ بهمن ماه ۱۳۹۶؛ تاریخ پذیرش: ۲۰ خرداد ماه ۱۳۹۷)

چکیده

این تحقیق به منظور ارزیابی مدل‌های رشد گیاهی WOFOST و AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب مصرفی (T1: ۵۰، T2: ۷۵، T3: ۱۰۰ و T4: ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) با استفاده از داده‌های برداشت شده در سال ۱۳۸۳ از یک مزرعه تحقیقاتی واقع در اهواز انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار T3 (۰/۴۵ تن در هکتار) و کمترین اختلاف بین این مقادیر در تیمار T2 (۰/۱۰ تن در هکتار) مشاهده شد. اختلاف بیشترین و کمترین مقادیر شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت با استفاده از مدل WOFOST با مقادیر اندازه‌گیری شده به ترتیب در تیمارهای T4 (۰/۱۵ تن در هکتار) و T1 (۰/۰۱ تن در هکتار) مشاهده شد. کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده زیست‌توده در تیمارهای T4 (۱/۱ تن بر هکتار) و T3 (۲/۰۳) مشاهده شد. نتایج شبیه‌سازی با مدل WOFOST نیز نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب به تیمارهای T1 (۱/۹۵) و T2 (۰/۶۵) اختصاص داشت. نتایج آماره‌ی RMSE برای عملکرد دانه ذرت توسط مدل‌های AquaCrop و WOFOST به ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۱۵ تن بر هکتار و برای زیست‌توده ذرت به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۸۸ تن در هکتار بود. مقادیر آماره MBE به دست آمده از نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت برای دو مدل AquaCrop و WOFOST به ترتیب برابر با ۰/۰۴ و ۰/۰۵- و برای زیست‌توده ذرت به ترتیب برابر با ۰/۵۲- و ۰/۴۷- تن در هکتار بود. به طور کلی می‌توان بیان کرد که، مدل WOFOST دقت بیشتری نسبت به مدل AquaCrop داشت.

واژه‌های کلیدی: زیست توده، کارایی مصرف آب، عملکرد دانه، مدل‌سازی گیاهی.

مقدمه

ذرت از جمله مهم‌ترین غلات به شمار می‌رود که منبع غذایی بسیاری از افراد است. این گیاه چهار کربنه دارای سازگاری خوبی با مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (۱۵). علی‌رغم این موضوع، شرایط مختلف مزرعه‌ای از جمله مدیریت آب در مزرعه بر عملکرد این گیاه اثرات متفاوتی می‌گذارد (۱۳ و ۳۱). اهمیت توجه به این مسأله در شرایط فعلی منابع آب کشور دوچندان می‌شود (۴ و ۶). گرچه نیاز به انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای برای تعیین بهترین مدیریت آب در مزرعه ضروری است؛ لیکن انجام این کار مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است. به همین دلیل مدل‌های مختلفی به منظور شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف مزرعه‌ای بسط داده شده است (۱۰، ۱۹، ۲۶ و ۳۰).

از جمله مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به AquaCrop و WOFOST اشاره کرد. مدل AquaCrop توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) و مدل WOFOST توسط مرکز جهانی مطالعات غذایی با همکاری دانشگاه واگنینگن و مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک تولید شد (۱۱). اساس این دو مدل، همانند سایر مدل‌های گیاهی، تبدیل یکی از منابع مورد نیاز گیاه مانند دی‌اکسید کربن، تابش خورشیدی یا آب به محصول است.

مدل AquaCrop به دلیل سادگی، داده‌های ورودی کم، کاربرپسند بودن و دقت بالا (۲۰ و ۲۷) توسط محققان متعددی مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط فراهانی و همکاران (۱۷) و گارسیا-ویلا و همکاران (۱۸) روی عملکرد پنبه، حسین و همکاران (۲۲) در خصوص شبیه‌سازی عملکرد آفتابگردان و مطالعات گیرتس و رائس (۱۹) روی عملکرد کینوآ اشاره کرد. تحقیقات متعددی توسط مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت انجام شده است. هیسائو و همکاران (۲۱) اثر مدیریت‌های مختلف مزرعه‌ای از جمله تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی را بر عملکرد ذرت توسط مدل AquaCrop شبیه‌سازی و نشان دادند که این مدل دقت مطلوبی برای تعیین عملکرد دانه ذرت در شرایط مختلف مورد نظر داشت. حسن‌لی و همکاران (۳) شرایط مختلف مزرعه‌ای از جمله کاربرد کیفیت‌های مختلف آب آبیاری را برای شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت توسط مدل AquaCrop مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که این مدل دقت مطلوبی داشت. از جمله تحقیقات دیگر که در این خصوص روی عملکرد ذرت انجام شده است می‌توان به بررسی‌های هنگ و همکاران (۲۰)، عابدین‌پور و همکاران (۹)، ماسانگانیس و همکاران (۲۵)، کاترجی و همکاران (۲۳) و رحیمی‌خوب و همکاران (۴) اشاره کرد.

در خصوص شبیه‌سازی عملکرد ذرت توسط مدل WOFOST تحقیقات کمتری نسبت به مدل AqauCrop صورت گرفته است. برای شناخت مدل WOFOST، می توان به تحقیقات انجام شده توسط سعادتی و همکاران (۵) اشاره کرد. این محققان از این مدل برای شبیه‌سازی واکنش دو رقم برنج تحت مدیریت‌های آبیاری مختلف استفاده کردند. در تحقیقی دیگر ایتزینگر و همکاران (۱۶) مدیریت‌های مختلف مزرعه‌ای را بر روی دو محصول گندم و جو مورد بررسی قرار دارند. امیری و همکاران (۱) تحقیقی در خصوص ارزیابی مدل WOFOST برای شبیه‌سازی محصول برنج انجام دادند. یانگ و همکاران (۳۲) تحقیق دیگری با استفاده از مدل WOFOST برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت انجام دادند. تحقیقات مشابه روی دیگر گیاهان زراعی از جمله مطالعات سانگ و همکاران (۲۹) بر گندم، مارلتو و همکاران (۲۴) در گندم و کانفالونیری و همکاران (۱۴) در برنج نیز نشان داده است که این مدل دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی داشته است. در تحقیقی، چنگ و همکاران (۱۲) از داده‌های ماهواره‌ای برای بهبود شبیه‌سازی مدل WOFOST استفاده کردند. در تحقیقی دیگر، بافکار و همکاران (۲) با استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای در منطقه ماهیدشت کرمانشاه نشان دادند که این مدل توانایی خوبی برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت در شرایط مختلف مدیریت آب در مزرعه داشت.

با توجه به سابقه تحقیق، تاکنون مطالعات محدودی در خصوص ارزیابی دو مدل AquaCrop و WOFOST برای تعیین عملکرد ذرت تحت شرایط مختلف مدیریت آب در مزرعه انجام شده است. بنابراین، هدف تحقیق حاضر ارزیابی این دو مدل تحت شرایط مختلف مزرعه‌ای در شرایط آب و هوایی اهواز بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از داده‌های برداشت شده توسط مسجدی و همکاران (۱۳۸۷) از شانزده مزرعه آزمایشی (شامل چهار تیمار و چهار تکرار) واقع در منطقه چنیبیه اهواز در محدوده طول جغرافیایی ´۴۵ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ´۲۶ °۳۱ و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۸۳، انجام شد. این مزارع تحت کشت ذرت رقم SC704 و مدیریت‌های مختلف آبیاری قرار داشتند. مدیریت آبیاری در مزارع براساس میزان تبخیر از تشت تبخیر کلاس A صورت گرفت. بدین صورت که چهار تیمار مدیریت آبیاری (T1: تبخیر ۵۰ میلی‌متر از تشت، T2: تبخیر ۷۵ میلی‌متر از تشت، T3: تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر از تشت و T4: تبخیر ۱۵۰ میلی‌متر از تشت) در نظر گرفته شد. هر مزرعه دارای ۶ پشته به طول ۶ متر و عرض ۷۵ سانتی‌متر بود. آماده‌سازی زمین در اوایل مرداد و کشت بذر در ۱۷ مرداد انجام شد. بذور مورد استفاده دارای قوه نامیه ۹۸ درصد و درصد خلوص فیزیکی ۹۸ درصد بودند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزارع و آب آبیاری مورد استفاده به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. کاشت بذر در اواسط مرداد ماه صورت گرفت و با توجه به مناسب بودن شرایط آب و هوایی برای جوانه‌زنی در اواخر مرداد ماه بذرهای کاشته شده سبز شدند. پس از کاشت بذر و جوانه زدن تا مرحله استقرار اولیه و پس از مرحله پنج برگی، اقدام به اعمال تیمارهای آزمایشی شد و تا قبل از این مرحله همه کرت‌های آزمایشی به شکل یکسان آبیاری شدند. از ابتدای کشت تا هنگام برداشت، روزانه داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A یادداشت برداری گردید تا زمان رسیدن به تیمار دور آبیاری، مشخص گردد. همچنین با در نظر گرفتن ضریب گیاهی Kc، میزان تبخیر و تعرق مشخص و بر اساس تخلیه رطوبتی و طبق تیمارهای مذکور تا رسیدن رطوبت خاک به حد FC، میزان آب مورد نیاز محاسبه و حجم آب مورد نیاز هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. در کلیه آبیاری‌ها جهت تأمین فشار و انرژی مورد نیاز از پمپ استفاده شد. قبل از هر آبیاری از عمق مؤثر ریشه نمونه خاک تهیه و جهت تعیین درصد رطوبت وزنی به آزمایشگاه ارسال گردید. در مرحله داشت نیز عملیات داشت مانند مبارزه با علف‌های هرز و سمپاشی علیه آفات نیز انجام گردید. در انتهای فصل (آبان ماه) نیز برداشت دانه با حذف اثرات کناری و از وسط هر واحد زراعی انجام شد.

جدول ۱- میانگین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ۱۶ مزرعه مورد آزمایش

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	رطوبت در ظرفیت زراعی (درصد)	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (درصد)	پتاسیم (میلی اکی والان بر گرم)	فسفر (میلی اکی والان بر گرم)	درصد ازت کل	درصد کربن آلی	درصد اشباع	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	pH
۰-۳۰	سیلتی‌رسی	۱/۳۴	۲۲	۱۲	۳۸۴	۸/۱۵	۷۰	۰/۵۵	۴۵	۰/۳۵	۸/۰۷
۳۰-۶۰	لومی‌شنی	۱/۷۸	۲۴	۱۳	۲۹۳	۷/۷	۷۲	۰/۴۸	۵۲	۰/۳۲	۸/۰۷

جدول ۲- میانگین خصوصیات آب آبیاری مورد استفاده

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کاتیون‌ها (میلی‌گرم بر لیتر)				آنیون‌ها (میلی‌گرم بر لیتر)			
		Ca^{++}	mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	$Co_3^{=}$	Hco_3^{-}	Cl^{-}	$So_4^{=}$
۲/۹	۷/۳	۲۰۰	۱۰۸	۲۸۰	۴/۶۸	۰	۲۴۴	۶۰۶/۳۵	۷۷۷/۶

سپس شبیه‌سازی با استفاده از دو مدل AquaCrop و WOFOST انجام شد. ابتدا به منظور شبیه‌سازی، داده‌های مورد نیاز به مدل‌ها وارد شد. داده‌های مورد نیاز این مدل‌ها به دو صورت اندازه‌گیری یا واسنجی می‌بایست تعیین گردد. داده‌های اندازه‌گیری توسط داده‌های برداشت شده مزرعه‌ای به مدل‌ها وارد شد. به دلیل عدم تغییر شرایط کشت و آبیاری از زمان آزمایش تا کنون، تغییری در داده‌ها ایجاد نشد. با تبدیل زمان کاشت به GDD، زمان کاشت و برداشت نیز به مدل‌ها معرفی شد. برای تعیین سایر داده‌ها، واسنجی انجام شد.

با توجه به اینکه هر کدام از سطوح آبیاری در چهار کرت مورد استفاده قرار گرفته بود؛ مقادیر برداشت شده از سه کرت برای واسنجی این دو مدل و مقادیر به دست آمده از یک کرت برای صحت‌سنجی نتایج به دست آمده در نظر گرفته شد.

مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه (معادله ۱) از بیوماس شبیه‌سازی شده (معادله ۲) استفاده می‌کند. در این مدل تعرق به عنوان مولفه اصلی تولید ماده خشک محسوب شده و توسط معادله ۳ از تفکیک دو جز تبخیر و تعرق محاسبه می‌شود (۲۷).

معادله ۱
$$Y = B \times HI$$

معادله ۲
$$B = WP^{*}\left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}}\right]$$

معادله ۳
$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0$$

که در این معادلات، Y عملکرد، HI شاخص برداشت، B بیوماس خشک، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب، ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط معادله ۴ محاسبه می‌شود (۲۷).

معادله ۴
$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t}$$

در این معادله، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد.
مدل WOFOST میزان رشد محصولات را با استفاده از معادله ۵ به دست می‌آورد (۱۱):

معادله ۵
$$\Delta W = C_e \times (A - R_m)$$

که در این معادله، ΔW میزان رشد، A میزان ناخالص جذب، R_m میزان تعرق نگهداری و C_e راندمان تبدیل جذب به بیوماس است. این مدل از معادله ساده نشان داده شده در معادله ۶ برای تعیین میزان جذب و رشد گیاه در شرایط کم‌آبیاری استفاده می‌کند (۱۱):

معادله ۶
$$A = \frac{T_a}{T_p} \times A_p$$

که در این معادله، A جذب واقعی، A_p جذب پتانسیل، T_a تعرق واقعی و T_p تعرق پتانسیل است.

پیش از انجام واسنجی و مدل‌سازی با AquaCrop ابتدا این مدل با استفاده از معادله ۷ مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت (۱۹):

معادله ۷
$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100$$

در این معادله، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، Pm مقدار برآورد شده عامل مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و Pb مقدار برآورد عامل مورد نظر براساس داده ورودی پایه می باشد. به منظور بررسی حساسیت هر عامل ورودی بر نتایج، 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.

به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای و شبیه‌سازی با مدل‌های مورد نظر، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در معادلات ۸ تا ۱۳ نشان داده شده‌اند.

معادله ۸
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}$$

معادله ۹
$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}}$$

معادله ۱۰
$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n}$$

معادله ۱۱
$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}$$

معادله ۱۲
$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2}$$

معادله ۱۳
$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum (P_i - \overline{P})^2 \sum (O_i - \overline{O})^2}$$

در این معادلات، 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 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 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 مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و WOFOST مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که این دو مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده‌اند. مقادیر آماره‌های EF و d 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 نیز از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

ضریب حساسیت عوامل مورد استفاده در دو مدل گیاهی AquaCrop و WOFOST در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت، مشاهده می‌شود که مدل AquaCrop به عامل ضریب گیاهی برای تعرق حساسیت بالایی دارد. این نتایج با مشاهدات محمدی و همکاران (۷) و سالمی و همکاران (۲۸) نیز مطابقت دارد. حساسیت این مدل به عوامل دمای پایه، دمای بالا و ضریب کاهش پوشش کم و برای سایر عوامل متوسط بود. حساسیت مدل WOFOST به عوامل سطح ویژه برگ، ضریب خاموشی نور جذب شده و کارایی ماده جذب شده به ریشه کم و برای سایر عوامل متوسط بود.

جدول ۳- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل رشد گیاهی AquaCrop و WOFOST برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت

عامل	مقدارSc در حالت ۲۵٪+	مقدارSc در حالت ۲۵٪-	درجه حساسیت
دمای پایه	۱/۶	۲/۲	کم-متوسط
دمای بالا	۰/۷	۱/۴	کم
بهره‌وری آب نرمال شده	۱۲/۹	۹/۹	متوسط
پوشش گیاهی اولیه	۵/۶	۹/۴	متوسط
بیشینه رشد کانوپی	۳/۲	۷/۱	متوسط
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۸/۷	۴/۳	متوسط
حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه	۳/۳	۵/۱	متوسط
ضریب شکل تخلیه آب برای توسعه گیاه	۱۱/۹	۶/۷	متوسط
ضریب رشد پوشش	۹/۲	۴/۸	متوسط
ضریب کاهش پوشش	۴/۳	۰/۹	متوسط-کم
ضریب گیاهی برای تعرق	۱۵/۶	۱۸/۱	بالا
دمای پایین برای جوانه‌زنی	۸/۵	۱۴/۱	متوسط
دمای بالای رشد	۶/۹	۱۱/۹	متوسط
سطح ویژه برگ	۵/۹	۱/۸	متوسط-کم
ضریب خاموشی نور جذب شده	۰/۶	۳/۳	کم-متوسط
کارایی مصرف نور برای یک برگ	۷/۰	۱۲/۵	متوسط
کارایی تبدیل ماده جذب شده به برگ	۲/۶	۴/۱	متوسط
کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای	۱۱/۴	۱۰/۲	متوسط
کارایی ماده جذب شده به ریشه	۵/۱	۰/۸	متوسط-کم
کارایی ماده جذب شده به ساقه	۴/۴	۷/۹	متوسط
سرعت جذب دی‌اکسید کربن در برگ	۱۰/۸	۵/۱	متوسط
فاکتور تصحیح میزان تعرق	۱۳/۹	۹/۴	متوسط

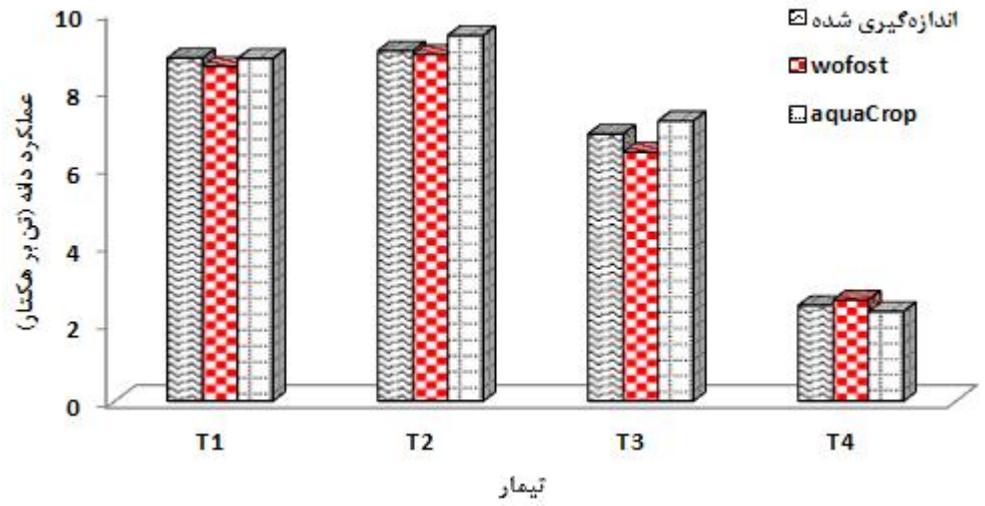
پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های مورد استفاده در جدول ۴ نشان داده شده است. برخی از این پارامترها براساس مقادیر پیش‌فرض و برخی دیگر براساس نتایج واسنجی مدل‌های AquaCrop و WOFOST به مدل‌های مورد استفاده معرفی شدند.

جدول ۴- مقادیر عوامل گیاهی برای مدل‌های AquaCrop و WOFOST در مدل‌های مورد استفاده

توضیح عامل	مقدار	واحد	توضیح
مدل AquaCrop			
دمای پایه	۸	درجه‌سانتی‌گراد	پیش‌فرض
دمای بالا	۳۰	درجه سانتی‌گراد	پیش‌فرض
بهره‌وری آب نرمال شده	۳۱/۸	گرم بر متر مربع	واسنجی
پوشش گیاهی اولیه	۰/۶۵	درصد	واسنجی
بیشینه رشد کانوپی	۹۴	درصد	واسنجی
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/۱۰	-	واسنجی
حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه	۰/۶۵	-	واسنجی
ضریب شکل تخلیه آب برای توسعه گیاه	۲/۱	-	واسنجی
ضریب رشد پوشش	۱۴/۱	درصد روز	واسنجی
ضریب کاهش پوشش	۹/۶	درصد روز	واسنجی
ضریب گیاهی برای تعرق	۱/۲۵	درصد بر روز	واسنجی
مدل WOFOST			
دمای پایین برای جوانه‌زنی	۴	درجه‌سانتی‌گراد	پیش‌فرض
دمای بالای رشد	۳۰	درجه‌سانتی‌گراد	پیش‌فرض
سطح ویژه برگ	۰/۰۰۲۶، ۰-۰	هکتار بر کیلوگرم	پیش‌فرض
ضریب خاموشی نور جذب شده	۰/۶۲-۰، ۰-۰	-	واسنجی
کارایی مصرف نور برای یک برگ	۰/۵۱-۰، ۰-۰	کیلوگرم بر هکتار ساعت ژول مربع	واسنجی
کارایی تبدیل ماده جذب شده به برگ	۰/۷۰	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای	۰/۶۵	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ریشه	۰/۶۸	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ساقه	۰/۶۸	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
سرعت جذب دی‌اکسید کربن در برگ	۰/۷۰-۰، ۰-۰	کیلوگرم بر هکتار ساعت	واسنجی
فاکتور تصحیح میزان تعرق	۱/۲	-	واسنجی

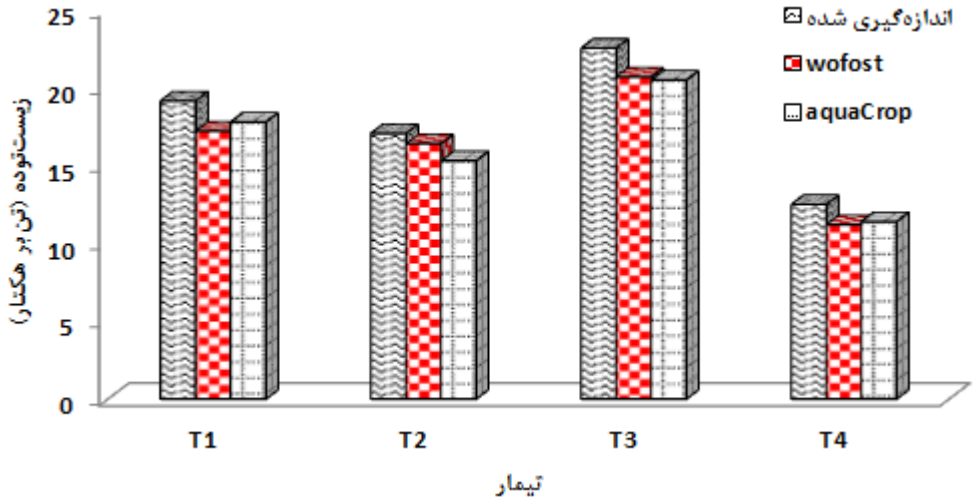
نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه با استفاده از دو مدل AquaCrop و WOFOST در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی با استفاده از مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار T3 مشاهده شد. کمترین اختلاف عملکرد بین مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده نیز در تیمار T2 مشاهده شد. اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای تیمارهای T3 و T2 به ترتیب برابر با ۰/۴۵ و ۰/۱۰ تن در هکتار بود. این نتایج نشان داد که این مدل دقت قابل

قبولی در شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت داشت. این نتایج با مشاهدات حسن‌لی و همکاران (۳) مطابقت داشت. این محققان نیز دقت مطلوب این مدل را برآورد عملکرد ذرت گزارش کردند. اختلاف بیشترین و کمترین مقادیر شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت با استفاده از مدل WOFOST با مقادیر اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۰۱ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای T4 و T1 مشاهده شد. اختلاف مقادیر شبیه‌سازی عملکرد دانه با استفاده از مدل AquaCrop با داده‌های اندازه‌گیری شده در تیمار T1 برابر با ۰/۲۱ تن در هکتار بود. نتایج هر دو مدل حاکی از این بود که در تیمار T1 که کمترین تنش آبی به گیاه وارد شده بود؛ نتایج دقیق‌تری به دست آمد. مقادیر به دست آمده برای این پارامتر با استفاده از مدل AquaCrop برای تیمار T4 کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده به دست آمد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد این تیمار با استفاده از مدل AquaCrop به میزان ۶ درصد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شد. شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت در تیمارهای T2 و T3 با استفاده از مدل WOFOST مقادیری کمتر از عملکرد اندازه‌گیری شده داشتند. در دو تیمار دیگر این مدل مقدار عملکرد را بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد کرده بود.

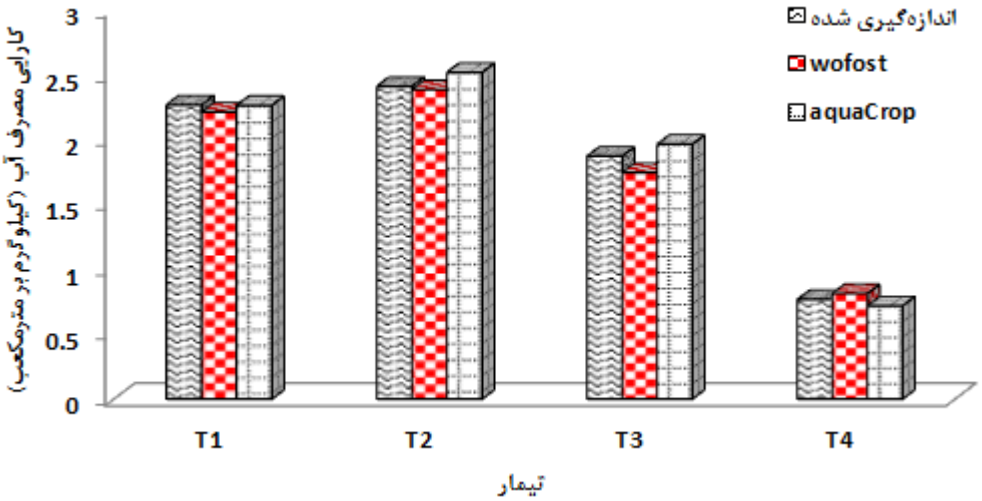


شکل ۱- مقایسه نتایج عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌سازی شده ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و WOFOST

مقایسه نتایج به دست آمده برای زیست‌توده نیز نشان داد که کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده متعلق به تیمار T4 (۱/۱ تن بر هکتار) بود (شکل ۲). بیشترین اختلاف زیست‌توده شبیه‌سازی شده با این مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده نیز به تیمار T3 (۲/۰۳) اختصاص داشت. نتایج شبیه‌سازی با مدل WOFOST نیز نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب به تیمارهای T1 (۱/۹۵) و T2 (۰/۶۵) اختصاص داشت. نتایج شبیه‌سازی کارایی مصرف آب با استفاده از مدل‌های AquaCrop و WOFOST در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس این نتایج، مشاهده می‌شود که بیشترین و کمترین اختلاف مقادیر شبیه‌سازی با استفاده از مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۱۲ و ۰/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای T3 و T2 مشاهده شد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل WOFOST نیز نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف بین نتایج این مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده برابر با ۰/۰۴ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر نیز به ترتیب در تیمارهای T4 و T1 مشاهده شد.



شکل ۲- مقایسه نتایج زیست‌توده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌سازی شده ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و WOFOST



شکل ۳- مقایسه نتایج کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌سازی شده ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و WOFOST

با توجه به جدول ۵، براساس نتایج آماره RMSE هر دو مدل مورد استفاده خطای کمی برای تعیین عملکرد دانه، زیست‌توده و کارایی مصرف آب داشتند. آماره NRMSE برای این دو مدل نیز مقداری کمتر از ۰/۱ داشت؛ بنابراین دقت این دو مدل عالی بود. براساس آماره MBE، مدل AquaCrop در برآورد عملکرد دانه دچار خطای بیش‌برآوردی و مدل WOFOST دچار خطای کم‌برآوردی شده بود. همچنین براساس این آماره، مدل AuaCrop در شبیه‌سازی کارایی مصرف آب دچار خطای بیش‌برآوردی و مدل WOFOST دچار خطای کم‌برآوردی شده بود. هر دو مدل برای تعیین زیست‌توده دارای خطای کم‌برآوردی بودند. سایر محققان از جمله هنگ و همکاران (۲۰)، کاترجی و همکاران (۲۳) و ضیایی و همکاران (۶) نیز گزارش کردند که مدل AquaCrop در تعیین عملکرد

محصولات مختلف دچار خطای بیش‌برآوردی شده بود. حسن‌لی و همکاران (۳) نیز بیش‌برآوردی این مدل را در تعیین عملکرد دانه ذرت گزارش کرده‌اند. با توجه به آماره EF، هر دو مدل در شبیه‌سازی پارامترهای عملکرد دانه، زیست‌توده و کارایی مصرف آب دارای کارایی مطلوبی بودند. محققان مختلف از جمله یانگ و همکاران (۳۲) برای ذرت نیز کارایی مدل WOFOST را در تعیین عملکرد دانه ذرت بیشتر از ۰/۹ گزارش کردند. سایر محققان نیز از جمله سانگ و همکاران (۲۸) برای گندم، مارلتو و همکاران (۲۴) برای گندم و کانفالونیری و همکاران (۱۴) برای برنج، کارایی مدل WOFOST را بالاتر از ۰/۹ بیان کردند.

شاخص توافق برای هر دو مدل در تعیین عملکرد دانه، زیست‌توده و کارایی مصرف آب در حد قابل قبول بود. ضرایب تبیین این سه پارامتر برای مدل‌های AquaCrop و WOFOST در جدول ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود؛ مقادیر این آماره نیز برای هر دو مدل مقادیر بالایی داشت. این در حالی است که محققان مختلف از جمله ماسانگانیس و همکاران (۲۵) و حسن‌لی و همکاران (۳) مقدار آماره R^2 را برای عملکرد محصول ذرت به ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۷۵ گزارش کردند. بنابراین نتیجه می‌شود که مقادیر به دست آمده در این تحقیق بسیار مطلوب می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه نتایج آماری نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت

عامل	نام مدل	RMSE	NRMSE	MBE	EF	d	R^2
عملکرد دانه (تن بر هکتار)	AquaCrop	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹
	WOFOST	۰/۱۵	۰/۰۲	-۰/۰۵	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۹۹
زیست‌توده (تن بر هکتار)	AquaCrop	۰/۹۲	۰/۰۵	-۰/۵۲	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹
	WOFOST	۰/۸۸	۰/۰۴	-۰/۴۷	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	AquaCrop	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۷۶	۰/۹۹
	WOFOST	۰/۰۴	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۷۵	۰/۹۹

نتیجه‌گیری نهایی

در تحقیق حاضر، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای رقم SC704 با استفاده از دو مدل گیاهی AquaCrop و WOFOST مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های برداشت شده از شانزده مزرعه آزمایشی استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی با استفاده از مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمار T3 (۰/۴۵ تن در هکتار) و کمترین اختلاف بین این مقادیر در تیمار T2 (۰/۱۰ تن در هکتار) مشاهده شد. اختلاف بیشترین و کمترین مقادیر شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت با استفاده از مدل WOFOST با مقادیر اندازه‌گیری شده به ترتیب در تیمارهای T4 (۰/۱۵ تن در هکتار) و T1 (۰/۰۱ تن در هکتار) مشاهده شد. کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مقادیر اندازه‌گیری شده زیست‌توده در تیمارهای T4 (۱/۱ تن بر هکتار) و T3 (۲/۰۳) مشاهده شد. نتایج شبیه‌سازی با مدل WOFOST نیز نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب به تیمارهای T1 (۱/۹۵) و T2 (۰/۶۵) اختصاص داشت. نتایج آماره‌های RMSE و MBE برای عملکرد دانه ذرت توسط مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۰۴ تن بر هکتار و توسط مدل WOFOST به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۰۵- تن بر هکتار بود. مقادیر این آماره‌ها برای شبیه‌سازی زیست‌توده توسط مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۵۲- تن بر هکتار و توسط مدل WOFOST به ترتیب برابر با ۰/۸۸ و ۰/۴۷- تن در هکتار بود. بر اساس این نتایج، مدل WOFOST دقت بالاتری در تعیین عملکرد دانه و زیست‌توده ذرت نسبت به مدل AquaCrop داشت.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز برای تأمین وسایل، امکانات و ایجاد تسهیلات لازم جهت انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- **امیری، ا.، کاوسی، م.، و کاوه، ف.** ۱۳۸۸. ارزیابی مدل‌های گیاهی ORYZA2000، SWAP و WOFOST در مدیریت‌های مختلف آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۰(۳): ۲۸-۱۳.

۲- **بافکار، ع.، برومندنسب، س.، بهزاد، م.، و فرهادی بانسوله، ب.** ۱۳۹۰. پیش‌بینی پتانسیل تولید ذرت دانه‌ای رقم 704SC در منطقه ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد محصول WOFOST. مجله علوم گیاهان زراعی. ۴۲(۴): ۸۰۸-۷۹۹.

۳- **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.

۴- **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.

۵- **سعادتی، ز.، پیرمرادیان، ن.، امیری، ا.، و رضایی، م.** ۱۳۹۱. ارزیابی مدل WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد دو رقم برنج تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۳): ۳۳۷-۳۲۳.

۶- **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.

۷- **محمدی م.، داوری ک.، قهرمان ب.، انصاری ح. 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.

۸- **مسجدی ع.، شکوه‌فر ع.، علوی فاضل، م.** ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین دور آبیاری ذرت تابستانه (هیبرید SC.704) و بررسی اثر تنش خشکی بر محصول با استفاده از اطلاعات تشت تبخیر کلاس A. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۶): ۵۵۰-۵۴۳.

9- **Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T. B. S., Singh, M. H., Pathak, H., and Ahmad, T.** 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. Agricultural Water Management. 110: 55-66.

10- **Boogaard, H. L., Van Diepen, C. A., Rotter, R. P., Cabrera, J. M. C. A. and Van Laar, H. H.** 1998. WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5 (No. 52). SC-DLO.

11- **Bouman, B. A. M., Van Keulen, H., Van Laar, H. H. and Rabbinge, R.** 1996. The "School of de Wit", crop growth simulation models: pedigree and historical overview. Agricultural System. 52: 171-198.

12- **Cheng, Zh., Meng, J., and Wang,** Y. 2016. Improving spring maize yield estimation at field scale by assimilation time-series HJ-1 CCD data into the WOFOST model using a new method with fast algorithms. Remote Sensing. 8(4): 1-22.

13- **Cheong, Y. H., Kim, K. N., Pandey, G. K., Gupta, R., Grant, J. J., and Luan, S.** 2003. A calcium sensor that differentially regulates salt, drought and cold responses in Arabidopsis. The Plant Cell. 15:1833-1845.

14- **Confalonieri, R., Acutis, M., Bellocchic, G. and Donatelli, M.** 2009. Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and WOFOST for rice. Ecological Model. 220: 1395-1410.

15- **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.

16- **Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z. and Dubrovsk, M.** 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Model. 171: 223-246.

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

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

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

20- **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. 101(3): 488-498.

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

22- **Hussein, F., Janat, M. and Yakoub, A.** 2011. Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model. SJAR. 9(4):1319-1330.

23- **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.

24- **Marletto, V., Ventura, F., Fontana, G. and Tomei, F.** 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. Agriculture Meteorology. 147: 71–79.

25- **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.

26- **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.

27- **Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Freres, E.** 2012. Reference manual AquaCrop, FAO, land and water division, Rome Italy.

28- **Salemi H., Mohd Soom M. A., Lee T. S., Mousavi S. F., Ganji, A., and Kamil Yusoff, M.** 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. Agricultural Research. 610: 2204-2215.

29- **Song, Y. I., Chen, D. L. and Dong, W. J.** 2006. Influence of climate on winter wheat productivity in different climate regions of China, 1961–2000. Climate Research. 32: 219–227.

30- **Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P. and van Diepen, C.A.** 1997. Theory of SWAP Version 2.0, Report #71. Department Water Resources, Wageningen Agricultural University. 167 pp.

31- **Xiong, L., Schumaker, K.S., and Zhu, J. K.** 2002. Cell signaling during cold, drought and salt stress. The plant Cell. 14:165-183.

32- **Yang, H. S., Dobermann, A., Lindquist, J. L., Wolters, D. T., Arkebauer, T. J. and Cassman, K. G.** 2004. Hybrid-maize—A maize simulation model that combines two crop modeling approaches. Field Crops Research. 87: 131–154.

Vol. 8, No. 1, Spring & Summer 2018

Evaluation of AquaCrop and WOFOST in simulating of corn yield under deficit irrigation

Aslan Egdernezhad[1*], Ali Reza Masjedi [2], Ali Reza Shokouhfar [3], Mojtaba Alavifazel [4]

1- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Associated professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
4- Associated Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Corresponding Author; Email: a_eigder@ymail.com

(Received: 4 February 2018; Accepted: 10 June 2018)

Abstract

This study was conducted to evaluate two crop growth models (AquaCrop and WOFOST) in simulating corn yield under different irrigation water (T1:50, T2:75, T3:100 and T4: 150 mm evaporation from pan A) using data collected from a research farm station in Ahwaz during one season crop. Results showed that the highest and the lowest different between collected and simulated yield values using AquaCrop were obtained in T3 (0.45 ton.ha^{-1}) and T2 (0.10 ton.ha^{-1}), respectively. Using WOFOST were obtained in T4 (0.15 ton.ha^{-1}) and T1 (0.01 ton.ha^{-1}), respectively. The lowest and the highest different for biomass values using AquaCrop were obtained in T4 (1.1 ton.ha^{-1}) and T3 (2.03 ton.ha^{-1}), respectively. Results for WOFOST were obtained in T2 (0.65 ton.ha^{-1}) and T1 (1.95 ton.ha^{-1}), respectively. RSME values for corn yield using AquaCrop and WOFOST were 0.16 and 0.15 ton.ha^{-1}, respectively. RMSE values for corn biomass using AquaCrop and WOFOST were 0.92 and 0.88 ton.ha^{-1}, respectively. Values for MBE using AquaCrop and WOFOST were 0.04 and -0.05 ton.ha^{-1} for corn yield, respectively, and -0.52 and -0.47 ton.ha^{-1} for corn biomass, respectively. In general, WOFOST had a better accuracy to simulate corn yield.

Key words: Biomass, corn yield, crop modeling, water use efficiency