

تعیین دقت و کارایی دو مدل گیاهی آب‌محور و کربن‌محور برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب ذرت

افشین سرکهگی^۱، اصلان اگدرنژاد^{۱*} و سهراب مینایی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۶)

چکیده

ارزیابی مدل‌های گیاهی در بخش کشاورزی توسط بسیاری از پژوهشگران انجام شده است. هدف از این کار تعیین مدل گیاهی مناسب برای برنامه‌ریزی و پیش‌بینی واکنش گیاهان زراعی در مناطق مختلف است. این عمل سبب می‌شود با صرف هزینه و وقت کمتر بتوان اثر شرایط مختلف را بر عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب گیاهان بررسی کرد. با توجه به اهمیت این موضوع، تحقیق حاضر به منظور بررسی دقت و کارایی دو مدل گیاهی AquaCrop و SWAP تحت سه تیمار نوع آبیاری (D: آبیاری بارانی با آب شور و F: آبیاری بارانی با کاربرد آب شور و شیرین و S: آبیاری سطحی) و پنج کیفیت مختلف آب (S1: ۲/۵، S2: ۳/۲، S3: ۳/۹، S4: ۴/۶ و S5: ۵/۱ دسی‌زیمنس بر متر) انجام شد. نتایج آماره NRMSE نشان داد که دقت مدل AquaCrop برای تعیین عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۰/۰۷ و ۰/۰۹ و ۰/۰۷ و دقت مدل SWAP به ترتیب برابر با ۰/۱۲، ۰/۰۴ و ۰/۱۳ بود. بر اساس آماره EF، کارایی مدل AquaCrop برای تعیین پارامترهای مذکور به ترتیب برابر با ۰/۶۰، ۰/۹۰ و ۴/۴- و کارایی مدل SWAP به ترتیب برابر با ۰/۷۴، ۰/۷۳ و ۲/۰- به دست آمد. بنابراین، دقت و کارایی مدل AquaCrop برای تعیین عملکرد و زیست‌توده بهتر از مدل SWAP بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، روش آبیاری، عملکرد محصول، مدل AquaCrop، مدل SWAP

۱. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. سازمان آب و برق استان خوزستان، اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a_eigder@ymail.com

مقدمه

ذرت یکی از منابع مهم غذایی در سراسر جهان است که برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز مناسب است (۱۸). حساسیت این گیاه زراعی چهارکربنه به مقدار و کیفیت آب آبیاری زیاد است و تغییرات هر کدام از این عوامل بر عملکرد و زیست‌توده آن اثرگذار است (۱۸ و ۱۹). اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و کمبود آب در بخش کشاورزی در آینده نه چندان دور (۲۲ و ۲۳) سبب می‌شود برای تأمین این منبع غذایی مطالعات بیشتری انجام شود. این مطالعات نیازمند صرف هزینه‌های بسیار است و بسیار زمانبر خواهند بود. بدین منظور، پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند از مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی برای بررسی سناریوهای مختلف بر رشد گیاهان زراعی استفاده شود (۹ و ۱۰). پیش از به کارگیری این مدل‌ها، لازم است دقت و کارایی آنها برای شرایط مورد مطالعه بررسی شود. به همین دلیل واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های رشد گیاهی توسط پژوهشگران مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است.

دو مدل AquaCrop و SWAP، که به ترتیب مدل‌های آب محور و کربن‌محور هستند (۱۰)، توسط سازمان خواروبار کشاورزی و دانشگاه واگنینگن هلند بسط داده شدند (۱۹ و ۲۱). هر دو مدل به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کم، کاربرپسند بودن و نزدیکی قابل قبول شرایط مدل‌سازی با مدیریت مزرعه در شرایط واقعی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته‌اند (۱۵، ۲۱ و ۲۳). ورود داده‌ها در هر دو مدل گیاهی مذکور به صورت گرافیکی بوده و به همین دلیل توسط طیف وسیعی از کاربران مورد استقبال قرار گرفته‌اند.

از جمله مطالعات انجام شده با استفاده از مدل AquaCrop می‌توان به تحقیقات ابراهیمی‌پاک و همکاران (۸) اشاره کرد. این پژوهشگران از مدل گیاهی AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد زعفران استفاده کردند و نشان دادند که دقت و کارایی آن قابل قبول بود. اگدرنژاد و همکاران (۱۰) از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب کلزا استفاده کردند. این پژوهشگران نشان دادند که دقت این مدل مطلوب و خطای

به‌دست آمده برای شبیه‌سازی دو پارامتر مذکور قابل صرف‌نظر است. سایر پژوهشگران از جمله ابراهیمی‌پاک و همکاران (۹) از این مدل برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی کلزا و نیشکر استفاده کردند و گزارش کردند که این مدل دقت قابل قبولی داشت. ماسانگانیس و همکاران (۱۷) و کاترجی و همکاران (۱۴) از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت استفاده و دقت و کارایی این مدل را مطلوب گزارش کردند. دونفاک و همکاران (۷) با استفاده از مدل AquaCrop به بررسی اثر تأمین نیاز آبی ذرت در کشور کامرون پرداختند. این پژوهشگران با واسنجی این مدل گیاهی نشان دادند که عملکرد ذرت در شرایط تأمین آب آبیاری در فصل کشت بین ۲/۵-۲/۳ متغیر بود.

جنوبی و همکاران (۱۳) از مدل SWAP برای شبیه‌سازی برنج در شمال کشور استفاده کردند و نشان دادند که دقت این مدل برای تعیین عملکرد برنج قابل قبول بود. این پژوهشگران از آماره RMSE بدین منظور استفاده و مقدار آن را برابر با ۴/۹۴ درصد گزارش کردند. ما و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل SWAP به شبیه‌سازی عملکرد گندم پرداختند. این پژوهشگران از دو آماره RMSE و MRE به منظور تعیین دقت مدل SWAP استفاده کرده و نشان دادند که خطای این مدل با استفاده از دو آماره مذکور به ترتیب برابر با ۲/۴ و ۸ درصد بود. بنفانت و همکاران (۵) از مدل SWAP برای شبیه‌سازی ذرت دانه‌ای در شمال ایتالیا استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده از مطالعات ایشان نشان داد که مدل SWAP برای تعیین پارامترهای گیاه مورد نظر از دقت و کارایی کافی برخوردار بود. در ادامه این تحقیق، بنفانت و بوما (۶) با تکیه بر دقت مدل SWAP، از این مدل برای شبیه‌سازی اثرات کمبود آب بر عملکرد ذرت تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده کردند. امیری (۴) از مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در شرایط کشت در منطقه شیراز استفاده کردند. بر اساس گزارش این پژوهشگران، دقت مدل SWAP بر اساس مقادیر آماره‌های RSME و ME به ترتیب برابر با ۹/۶- و ۱/۵- بود. بنابراین دقت این مدل برای شبیه‌سازی ذرت در این منطقه تأیید شد. حسن‌لی

و همکاران (۱۲) با استفاده از مدل‌های AquaCrop و SWAP به شبیه‌سازی اثر آبیاری با آب شور بر عملکرد ذرت پرداختند. این پژوهشگران نشان دادند که آماره R^2 برای این دو مدل گیاهی به ترتیب برابر با ۰/۷۳ و ۰/۵۹ بود. این پژوهشگران مقادیر خطا برای این دو مدل گیاهی را به ترتیب برابر با ۰/۳۰ و ۰/۱۹ تعیین کردند.

استان خوزستان از قطب‌های کشت ذرت در کشور محسوب می‌شود. لیکن در سال‌های اخیر کمبود آب در دسترس و شوری بالای منابع آب، سبب بروز مشکلاتی برای کشاورزان شده است (۲). به همین دلیل تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی برای برخی مناطق پیشنهاد شده است. برای پژوهشگران و مدیران کشاورزی این موضوع مطرح شده است که واکنش گیاه ذرت به دو روش آبیاری سطحی و بارانی تحت کیفیت‌های مختلف آب آبیاری برای هر منطقه در این استان به چه صورت است. بر اساس بیان مسئله و پیشینه تحقیق، نیاز است از مدل‌های زراعی برای این کار استفاده شود. با توجه به اینکه تاکنون چنین موضوعی توسط پژوهشگران دیگر بررسی نشده است؛ هدف این تحقیق ارزیابی دقت و کارایی دو مدل SWAP و AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت در شرایط مورد نظر است.

(۱) نشان داده شده است.

$$d_N = (FC - PWP) \times D \times 10 \quad (1)$$

عمق خالص آب آبیاری از رابطه (۱) تعیین شد:

در این رابطه d_N عمق آب آبیاری برحسب میلی‌متر، FC رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی برحسب درصد حجمی، PWP مقدار رطوبت خاک قبل از آبیاری برحسب درصد حجمی و D عمق ریشه برحسب متر است. عمق ناخالص آبیاری با در نظر گرفتن ۱۰ درصد تلفات برای تبخیر و بادبردگی در روش آبیاری بارانی و غیریکنواختی توزیع آب در روش آبیاری سطحی و ۲۵ درصد تلفات برای تأمین نیاز آبتجویی عمق ناخالص آب آبیاری برای هر دو روش آبیاری به‌دست آمد (رابطه ۲):

$$d_g = d_N \times 1.35 \quad (2)$$

در این رابطه d_g عمق ناخالص آب آبیاری است. حجم ناخالص آب آبیاری نیز از رابطه ذیل محاسبه شد:

$$V_g = d_g \times A \quad (3)$$

در این رابطه V_g حجم ناخالص آب آبیاری و A مساحت تیمار آبیاری است. تیمار S1 بر اساس شوری آب آبیاری در دسترس (رودخانه کارون) و تیمار S5 با توجه به بررسی‌های انجام شده

استان خوزستان از قطب‌های کشت ذرت در کشور محسوب می‌شود. لیکن در سال‌های اخیر کمبود آب در دسترس و شوری بالای منابع آب، سبب بروز مشکلاتی برای کشاورزان شده است (۲). به همین دلیل تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی برای برخی مناطق پیشنهاد شده است. برای پژوهشگران و مدیران کشاورزی این موضوع مطرح شده است که واکنش گیاه ذرت به دو روش آبیاری سطحی و بارانی تحت کیفیت‌های مختلف آب آبیاری برای هر منطقه در این استان به چه صورت است. بر اساس بیان مسئله و پیشینه تحقیق، نیاز است از مدل‌های زراعی برای این کار استفاده شود. با توجه به اینکه تاکنون چنین موضوعی توسط پژوهشگران دیگر بررسی نشده است؛ هدف این تحقیق ارزیابی دقت و کارایی دو مدل SWAP و AquaCrop برای شبیه‌سازی ذرت در شرایط مورد نظر است.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای

این پژوهش با استفاده از داده‌های برداشت شده از یک مزرعه تحقیقاتی در شهرستان اهواز طی دو فصل زراعی (۱۳۹۱-۱۳۹۲) انجام شد (۱۸). در این تحقیق، روش آبیاری (D: آبیاری بارانی با آب شور و F: آبیاری بارانی با کاربرد آب شور و شیرین و S: آبیاری سطحی) با پنج کیفیت آب آبیاری (S1: ۲/۵، S2: ۳/۲، S3: ۳/۹، S4: ۴/۶ و S5: ۵/۱ دسی‌زیمنس بر متر) روی گیاه ذرت بررسی شد (شکل ۱).

زمان کاشت برای کشت اول در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۷ تا ۱۳۹۱/۱۲/۸ و برای کشت دوم در تاریخ ۱۳۹۲/۴/۲۸ تا

مدل SWAP

در مدل SWAP، شبیه‌سازی رشد و تولید محصول به کمک فاکتورهای زراعی اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه انجام می‌شود (۱۹). بدین منظور، با استفاده از رابطه (۱۰)، میزان تولید محصول تعیین می‌شود:

$$1 - \frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} = K_{y,k} \left(1 - \frac{T_{a,k}}{T_{p,k}} \right) \quad (10)$$

که در این رابطه، $K_{y,k}$ ضریب واکنش گیاه به مرحله رشد K ، $T_{a,k}$ و $T_{p,k}$ تعرق واقعی و پتانسیل در طول دوره رشد K (ساعتی‌متر)، $Y_{a,k}$ و $Y_{p,k}$ محصول واقعی و پتانسیل در طول دوره رشد k (کیلوگرم بر هکتار) است. محصول نسبی در کل فصل رشد با استفاده از محصول نسبی در هر مرحله از رشد، از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{k=1}^n \left(\frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} \right) \quad (11)$$

که در این رابطه، Y_a محصول تجمعی واقعی در طول کل فصل رشد (کیلوگرم بر هکتار)، Y_p محصول تجمعی پتانسیل در طول کل فصل رشد (کیلوگرم بر هکتار)، k مرحله رشد و n تعداد مراحل رشد تعریف شده است. در صورت وجود رابطه خطی بین $\frac{Y_a}{Y_p}$ و $\frac{T_a}{T_p}$ در طول کل دوره رشد و یا زمانی که هیچ گونه اطلاعاتی در مورد ضریب واکنش به‌عنوان تابعی از مراحل رشد (D_s) برای یک گیاه خاص موجود نباشد، یک مرحله رشد (k) برای گیاه زراعی مورد نظر تعریف می‌شود.

تحلیل حساسیت

پیش از انجام واسنجی و مدل‌سازی با دو مدل SWAP و AquaCrop ابتدا پارامترهای ورودی این مدل‌ها با استفاده از رابطه (۱۲) مورد تحلیل حساسیت قرار گرفتند (۱۱).

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (12)$$

در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده عامل مورد نظر بر اساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد عامل مورد نظر بر اساس داده ورودی

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه شده (رابطه ۵) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند. تفکیک این مؤلفه به دو جزء تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می‌شود تا مصرف غیرتولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۶):

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} \right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x} \right) \quad (5)$$

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (6)$$

در این روابط، Y_a و Y_x به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_a و ET_x به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (7)$$

در این رابطه، CC_0 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 (۸) برآورد می‌شود:

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (8)$$

در این رابطه، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد (Y) نیز با استفاده از ماده خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$Y = B \times HI \quad (9)$$

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 بر اساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا داده‌های موجود به مدل معرفی شدند.

جدول ۲. ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل‌های AquaCrop و SWAP

عامل	مقدار Sc در حالت +۲۵٪	مقدار Sc در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت
AquaCrop			
ضریب گیاهی برای تعرق	۷/۲	۲/۹	متوسط
حداکثر عمق ریشه	۵/۵	۸/۵	متوسط
مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی	۸/۰	۶/۳	متوسط
مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی	۹/۲	۱/۰	متوسط-کم
مدت زمان کاشت تا برداشت محصول	۵/۱	۸/۹	متوسط
مدت زمان کاشت تا دوره پیری	۸/۸	۴/۳	متوسط
حد آستانه بالای دما	۷/۱	۷/۰	متوسط
SWAP			
دمای حداکثر	۷/۱	۷/۰	متوسط
دمای حداقل	۸/۵	۷/۹	متوسط
ضریب تبخیر-تعرق	۸/۷	۶/۲	متوسط
بار فشاری برای شروع جذب آب توسط ریشه	۷/۴	۸/۲	متوسط
بار فشاری برای شروع بهینه جذب آب توسط ریشه	۲/۲	۵/۹	متوسط

داده‌های سال دوم کشت انجام شد و نتایج حاصل از آنها با داده‌های برداشت شده از مزرعه آزمایشی مقایسه شد. بدین منظور 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 (R²) استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۷) تا (۱۰) نشان داده شده‌اند (۱):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{O_i} \quad (8)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (9)$$

پایه است. به منظور 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، ۲ < Sc < ۱۵ حساسیت متوسط، Sc < ۲ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (۱۱). مقادیر حساسیت برخی از این پارامترها در جدول (۲) نشان داده شده است.

عملیات واسنجی

واسنجی دو مدل AquaCrop و SWAP، برای داده‌های برداشت شده در فصل اول کشت و برای کلیه تیمارها، بر اساس توصیه بسط‌دهندگان مدل (۱۴) انجام شد. مقادیر واسنجی شده و برخی از مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌فرض در جدول (۳) آمده است.

عملیات صحت‌سنجی

پس از واسنجی، صحت‌سنجی هر دو مدل گیاهی با استفاده از

جدول ۳. مقادیر عوامل گیاهی مورد استفاده در مدل‌های AquaCrop و SWAP

توضیح عامل	مقدار	واحد	توضیح
AquaCrop			
بهره‌وری آب نرمال شده	۲۵	گرم بر مترمربع	واسنجی
پوشش گیاهی اولیه	۰/۵	درصد	واسنجی
بیشینه رشد کانوبی	۹۱	درصد	واسنجی
حد بالای ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/۱۵	-	واسنجی
حد پایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه	۰/۷۹	-	واسنجی
حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق	۱/۰۵	درصد بر روز	پیش فرض
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی در بسته شدن روزنه‌ها	۵/۶	-	واسنجی
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی در مرحله پیری	۲/۵	-	واسنجی
SWAP			
ضریب نابودی نور پخش شده	۳/۵۰	-	واسنجی
ضریب نابودی نور مستقیم	۰/۵	-	واسنجی
بار فشاری برای شروع جذب آب توسط ریشه	-۱۰۰۰	سانتی متر	واسنجی
متوسط دمای روزانه برای رشد	۸	درجه سانتی گراد	واسنجی
دمای پایه	۸	درجه سانتی گراد	پیش فرض
دمای حداکثر	۳۰	درجه سانتی گراد	پیش فرض
بیشینه رشد ریشه	۱/۰	متر	واسنجی

مدل است. همچنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی AquaCrop 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 نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها است و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R² از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها است.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی هر دو مدل AquaCrop و SWAP در جدول (۴)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

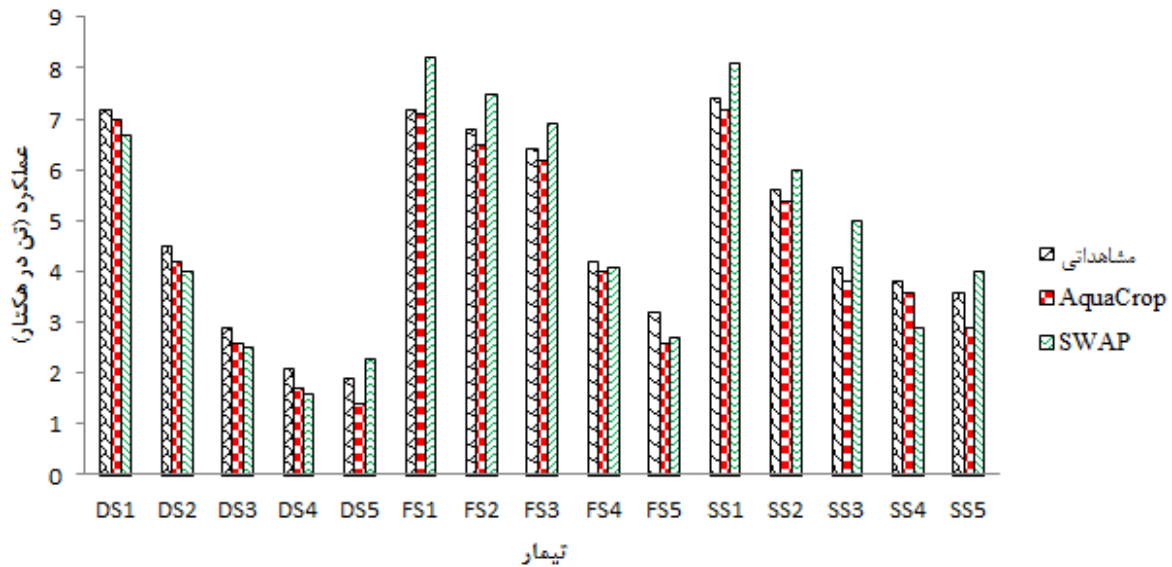
در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها است. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده دقت عالی

جدول ۴. مقایسه آماری نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ذرت با مدل AquaCrop در مرحله واسنجی

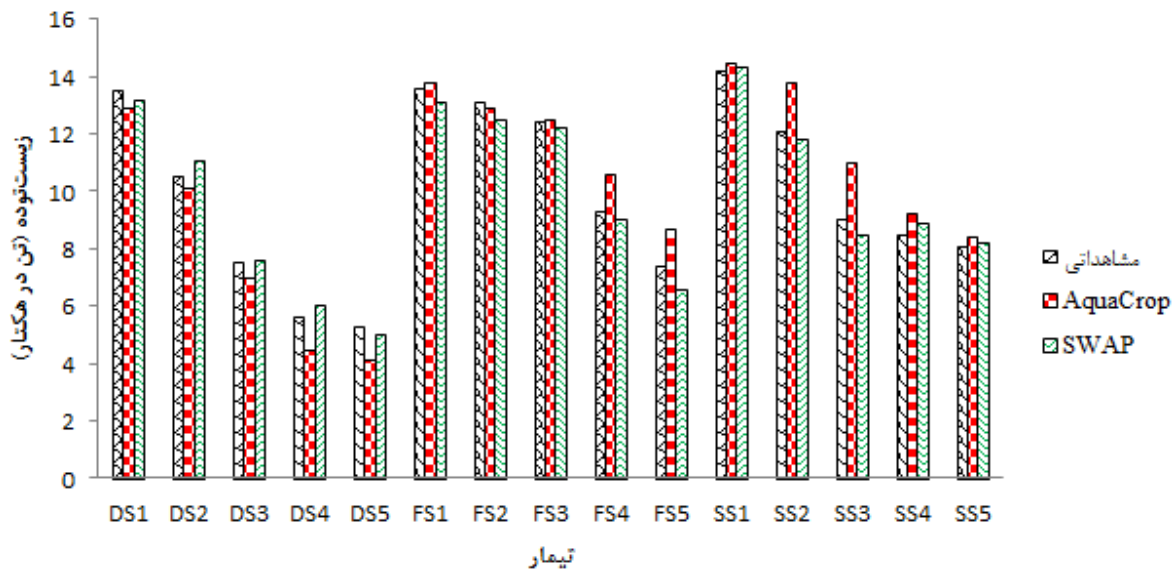
پارامتر	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d
مدل AquaCrop					
عملکرد	-۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۹۹
زیست‌توده	۰/۱۵	۰/۴۱	۰/۰۷	۰/۹۰	۰/۹۹
کارایی مصرف آب	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۶۵	۰/۹۹
مدل SWAP					
عملکرد	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۹۰	۰/۹۹
زیست‌توده	۰/۱۷	۰/۳۵	۰/۱۰	۰/۷۵	۰/۹۹
کارایی مصرف آب	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۷۱	۰/۹۹

SWAP و مشاهداتی به ترتیب برابر ۱ و ۰/۱ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای FS1 و FS4 مشاهده شد. متوسط این اختلاف نیز برابر با ۰/۵۶ تن در هکتار بود. اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده زیست‌توده با استفاده از دو مدل AquaCrop و SWAP در شکل (۳) نشان داده شده است. با افزایش مقدار شوری آب، میزان کاهش عملکرد و زیست‌توده به صورت خطی افزایش یافت. این نتایج در هر سه روش آبیاری مشاهده شد. این روند نیز توسط هر دو مدل شبیه‌سازی شد. بیشترین و کمترین مقادیر اختلاف برای مدل AquaCrop و مقادیر مشاهداتی به ترتیب برابر با ۲ و ۰/۱ تن در هکتار بود و به ترتیب در تیمارهای SS3 و FS3 به دست آمد. متوسط این اختلاف نیز برابر با ۰/۷ تن در هکتار به دست آمد. مقایسه نتایج زیست‌توده و عملکرد به دست آمده توسط مدل AquaCrop نشان داد که اختلاف نتایج بین عملکرد کمتر از زیست‌توده بود. اگر این نتایج به صورت درصد بیان شود؛ بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برابر با ۲۲۳ و ۳۱ درصد بود. بیشترین و کمترین اختلاف نتایج زیست‌توده بر اساس درصد برابر با ۲۵۲ و ۱۲/۶ بود. اختلاف زیست‌توده شبیه‌سازی شده با مدل SWAP و مقادیر مشاهداتی به ترتیب برابر با ۰/۸ و ۰/۱ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای FS5 و DS3 به دست آمد. البته در تیمارهای SS1 و SS5 نیز اختلاف این مقادیر برابر با ۰/۱

نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، دقت مدل AquaCrop در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت قابل قبول بود ولی این مدل دچار خطای کم‌برآوردی شد. کارایی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در مرحله واسنجی نیز مطلوب بود. دقت و کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده و کارایی مصرف آب نیز قابل قبول بود. لیکن این مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده و کارایی مصرف آب دچار خطای بیش‌برآوردی شد. دقت مدل SWAP در تعیین عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب در مرحله واسنجی عالی بود. این مدل در تعیین هر سه پارامتر اشاره شده دچار خطای بیش‌برآوردی شد. کارایی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد بهتر از زیست‌توده و کارایی مصرف آب بود لیکن کارایی این مدل برای شبیه‌سازی هر سه پارامتر اشاره شده قابل قبول بود. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی عملکرد ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و SWAP در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مشاهداتی برابر با ۰/۷ و ۰/۱ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای SS5 و FS1 به دست آمد. متوسط این مقادیر نیز برابر با ۰/۳ تن در هکتار بود. این نتایج نشان داد که به صورت میانگین مدل AquaCrop خطایی برابر با ۳۰۰ کیلوگرم داشت. بیشترین و کمترین اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل



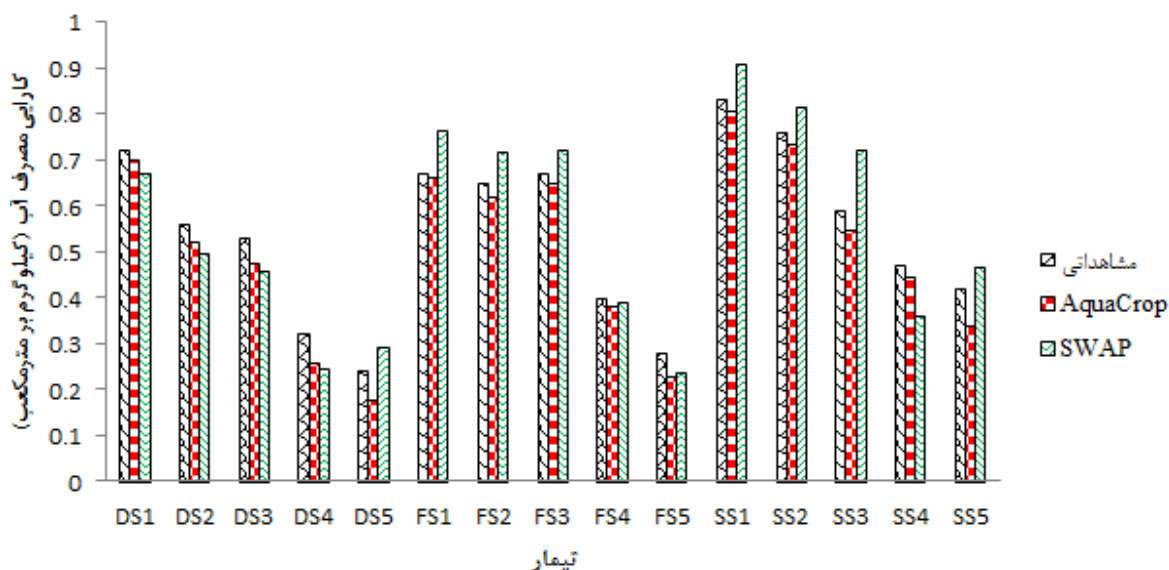
شکل ۲. مقایسه نتایج عملکرد اندازه‌گیری شده و مشاهداتی ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و SWAP (D, F, S) به ترتیب آبیاری بارانی با آب شور، آبیاری بارانی با تلفیق آب شور و شیرین و آبیاری سطحی و S1، S2، S3، S4 و S5 به ترتیب شوری آب آبیاری به میزان ۲/۵، ۳/۲، ۳/۹، ۴/۶ و ۵/۱ دسی‌زیمنس بر متر است.



شکل ۳. مقایسه نتایج زیست‌توده اندازه‌گیری شده و مشاهداتی ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و SWAP (D, F, S) به ترتیب آبیاری بارانی با آب شور، آبیاری بارانی با تلفیق آب شور و شیرین و آبیاری سطحی و S1، S2، S3، S4 و S5 به ترتیب شوری آب آبیاری به میزان ۲/۵، ۳/۲، ۳/۹، ۴/۶ و ۵/۱ دسی‌زیمنس بر متر است.

استفاده در شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مشاهداتی برابر با ۰/۰۸ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر متر

تن در هکتار بود. متوسط اختلاف زیست‌توده شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز برابر با ۰/۳۶ تن در هکتار بود. مقایسه نتایج کارایی مصرف آب برای هر دو مدل مورد

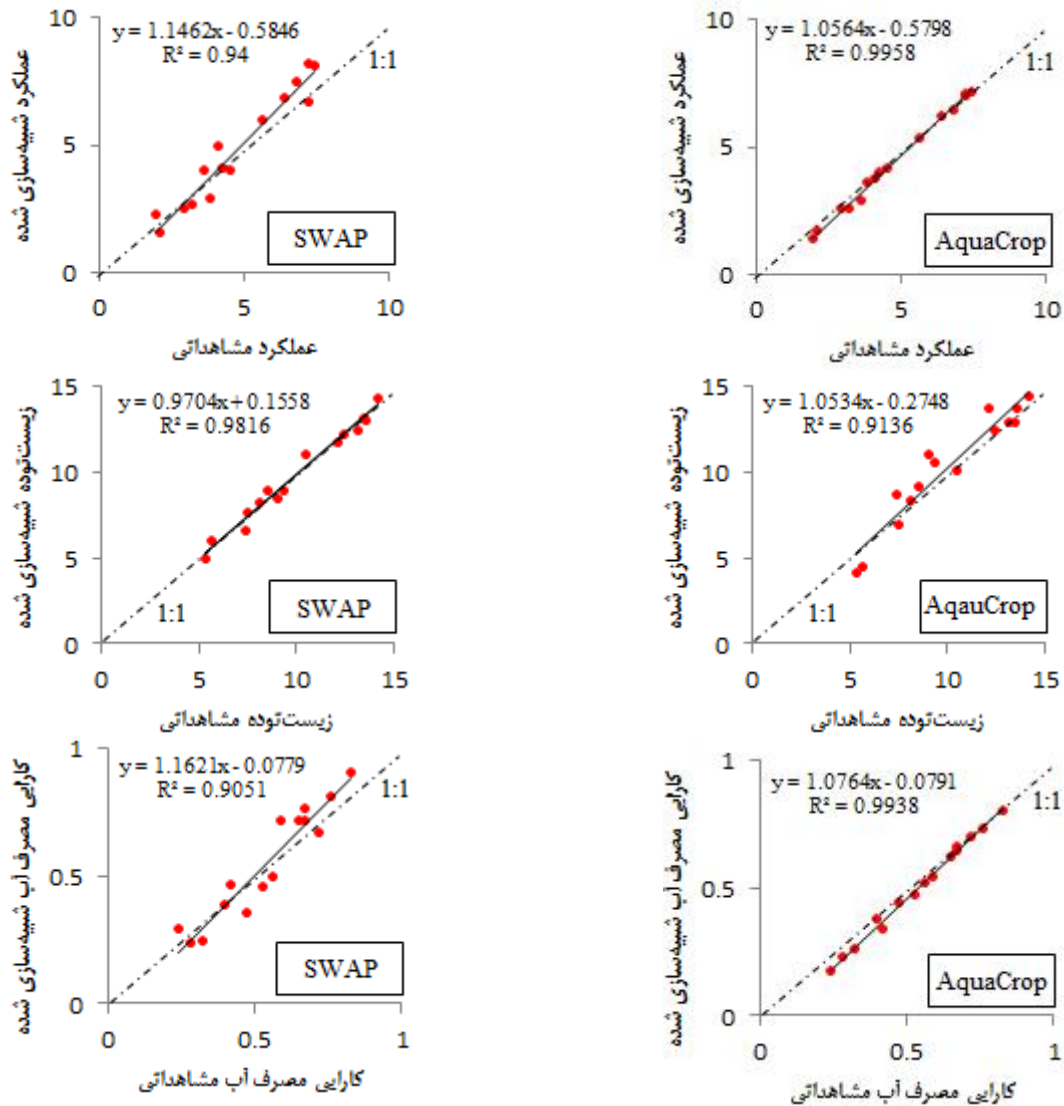


شکل ۴. مقایسه نتایج کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شده و مشاهداتی ذرت با استفاده از مدل‌های AquaCrop و SWAP (D, F و S به ترتیب آبیاری بارانی با آب شور، آبیاری بارانی با تلفیق آب شور و شیرین و آبیاری سطحی و S1، S2، S3، S4 و S5 به ترتیب شوری آب آبیاری به میزان ۲/۵، ۳/۲، ۳/۹، ۴/۶ و ۵/۱ دسی‌زیمنس بر متر است).

در دنبال کردن تغییرات عملکرد و کارایی مصرف آب نسبت به مدل SWAP بهتر عمل کرد. این نتایج در پیروی کردن از تغییرات زیست‌توده برای مدل SWAP بهتر از AquaCrop بود. به‌منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب توسط مدل‌های AquaCrop و SWAP، داده‌های برداشت شده از مزرعه از آماره‌های RMSE، MBE، NRMSE، EF و d استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از این آماره‌ها در جدول (۵) نشان داده شده است. بر اساس نتایج دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت دقت قابل قبولی داشت. با مراجعه به رابطه (۸)، مشاهده شد که دقت این مدل در دسته عالی قرار داشت. این نتایج با مشاهدات ابراهیمی‌پاک و همکاران (۹) و آگدرنژاد و همکاران (۱۰) مطابقت داشت. با وجود این مدل دچار خطای کم‌برآوردی شد. با توجه به دو آماره EF و d، کارایی این مدل در برآورد عملکرد نیز قابل قبول بود. استریسیویچ و همکاران (۲۰) و مالک و همکاران (۱۶) نیز در شبیه‌سازی گیاهان زراعی با مدل AquaCrop، مقدار ۹/۰ را برای آماره d گزارش کردند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت. دقت مدل AquaCrop

مکعب بود. متوسط این اختلاف نیز برابر با ۰/۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. بیشترین و کمترین اختلاف نتایج کارایی مصرف آب برای مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل SWAP و مشاهداتی نیز به ترتیب برابر با ۰/۱۳ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد. متوسط این اختلاف نیز برابر با ۰/۰۶ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد.

همبستگی بین نتایج عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای هر دو مدل SWAP و AquaCrop در شکل (۵) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، مقدار ضریب تبیین برای هر کدام از این پارامترها به ترتیب برابر ۰/۹۹، ۰/۹۱ و ۰/۹۹ بود. بنابراین مدل AquaCrop توانایی بالایی در پیروی کردن تغییرات عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب مشاهداتی داشت. همبستگی بین نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد توسط مدل SWAP برابر با ۰/۹۴ بود. مقدار این آماره برای زیست‌توده و کارایی مصرف آب نیز به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۹۰ بود. مقایسه این دو مدل نشان داد که این نتایج برای هر دو مدل تقریباً یکسان و قابل قبول بود. با وجود این، مدل AquaCrop



شکل ۵. نتایج همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده

جدول ۵. مقایسه نتایج آماری نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب ذرت

d	EF	NRMSE	RMSE	MBE	عامل
مدل AquaCrop					
۰/۹۹	۰/۶۰	۰/۰۷	۰/۳۵	-۰/۳۱	عملکرد ذرت (تن در هکتار)
۰/۹۹	۰/۹۰	۰/۰۹	۰/۹۸	۰/۲۶	زیست‌توده (تن در هکتار)
۰/۹۹	-۴/۴	۰/۰۷	۰/۰۴	-۰/۰۳	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
مدل SWAP					
۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۱۲	۰/۶۰	۰/۱۰	عملکرد ذرت (تن در هکتار)
۰/۹۹	۰/۷۳	۰/۰۴	۰/۴۱	-۰/۱۴	زیست‌توده (تن در هکتار)
۰/۹۹	-۲/۰	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۰۱	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)

مدل بر اساس آماره EF برای هر کدام از روش‌های آبیاری مورد استفاده کمتر از مقداری بود که در حالت کلی تعیین شده بود. مدل AquaCrop در شبیه‌سازی آبیاری بارانی با آب شور (D)، دچار خطای کم‌برآوردی برای شبیه‌سازی زیست‌توده ذرت شد. این مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده ذرت در دو روش آبیاری F و S دچار خطای بیش‌برآوردی شد. دقت این مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده ذرت در روش آبیاری سطحی (S) کمتر از آبیاری بارانی بود. کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست‌توده مطلوب بود. دقت و کارایی این مدل در شبیه‌سازی کارایی مصرف آب ذرت در هر سه روش آبیاری تقریباً یکسان و قابل قبول بود. مقایسه دو آماره NRMSE برای دو پارامتر عملکرد و کارایی مصرف آب نشان داد که این مدل دقت در شبیه‌سازی عملکرد دقت بیشتری داشت. این پژوهشگران نیز دقت مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد بیشتر از کارایی مصرف آب بیان کردند. مقایسه آماری مقدار پوشش سطح مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در جدول (۶) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج کارایی و دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رشد پوشش سطح قابل قبول بود.

نتایج مشابه برای مدل SWAP در جدول (۶) نشان داده شده است. بر اساس آن، مدل SWAP در تعیین عملکرد در روش آبیاری D دچار خطای کم‌برآوردی و در دو روش دیگر دچار خطای بیش‌برآوردی شد. دقت این مدل در هر سه روش آبیاری در دسته خوب قرار داشت و نسبت به مدل AquaCrop کمتر بود. با وجود این، کارایی این مدل در هر سه روش آبیاری بهتر از مدل AquaCrop بود. مدل SWAP در شبیه‌سازی زیست‌توده در روش آبیاری D دچار خطای بیش‌برآوردی و در دو روش دیگر دچار خطای کم‌برآوردی شد. دقت این مدل در شبیه‌سازی هر سه روش آبیاری بهتر از مدل AquaCrop بود. کارایی مدل SWAP در روش آبیاری F نسبت به دو روش دیگر بهتر بود. مدل SWAP در تعیین کارایی مصرف آب مشابه مدل AquaCrop عمل کرد.

در تعیین زیست‌توده نیز مطلوب بود. بر اساس آماره NRMSE، دقت این مدل در دسته عالی قرار داشت. بر اساس نتایج آماره MBE، این مدل دچار خطای بیش‌برآوردی شد. کارایی این مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده بهتر از عملکرد بود. نتایج آماره‌های RMSE و NRMSE برای کارایی مصرف آب نشان داد که دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی کارایی مصرف آب عالی بود لیکن این مدل دچار خطای کم‌برآوردی شد. با وجود این، کارایی مدل AquaCrop در تعیین این پارامتر چندان قابل قبول نبود. نتایج آماره‌های RMSE و NRMSE برای عملکرد ذرت نشان داد که مدل SWAP در برآورد این پارامتر دقت خوبی داشت. مقایسه این نتایج با مدل AquaCrop نشان داد که دقت مدل AquaCrop بهتر از SWAP بود. بر اساس آماره MBE، مدل SWAP در برآورد عملکرد ذرت دچار خطای بیش‌برآوردی شد. کارایی این مدل در تعیین عملکرد ذرت نیز قابل قبول بود. این نتایج با مشاهدات بونفانت و همکاران (۵) مطابقت داشت. نتایج آماره‌های گفته شده برای زیست‌توده ذرت نشان داد که مدل SWAP در تعیین این پارامتر دقت خوبی داشت لیکن دچار خطای کم‌برآوردی شد. دقت این مدل برای تعیین کارایی مصرف آب نیز خوب ارزیابی شد و این مدل در تعیین این پارامتر دچار خطای بیش‌برآوردی شد. کارایی مدل SWAP در تعیین دو پارامتر زیست‌توده و کارایی مصرف آب به ترتیب مطلوب و نامطلوب بود. مقایسه نتایج دو این دو مدل نشان داد که مدل AquaCrop در تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت بهتر از مدل SWAP بود ولی هر دو مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده ذرت تقریباً مشابه عمل کردند.

تفکیک نتایج به دست آمده بر اساس نوع روش آبیاری در جدول (۶) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت در هر سه روش آبیاری مورد استفاده دچار خطای کم‌برآوردی شد. البته دقت این مدل در هر سه روش آبیاری تقریباً یکسان و در دسته عالی قرار داشت. با وجود این، با مراجعه به جدول (۵)، کارایی این

جدول ۶. مقایسه نتایج آماری عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب ذرت برای روش‌های آبیاری مختلف

د	EF	NRMSE	RMSE	MBE	روش آبیاری*	مدل شبیه‌سازی	عامل
۰/۹۹	-۰/۵۸	۰/۰۹	۰/۳۵	-۰/۳۴	D	AquaCrop	عملکرد ذرت (تن در هکتار)
۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۴۶	-۰/۳۰	D	SWAP	
۰/۹۹	-۰/۸۵	۰/۰۵	۰/۳۲	-۰/۲۸	F	AquaCrop	
۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۶۳	۰/۳۲	F	SWAP	
۰/۹۹	-۰/۴۲	۰/۰۷	۰/۳۷	-۰/۳۲	S	AquaCrop	
۰/۹۹	۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۶۹	۰/۰۳	S	SWAP	
۰/۹۹	۰/۷۰	۰/۰۹	۰/۸۲	-۰/۲۵	D	AquaCrop	زیست‌توده (تن در هکتار)
۰/۹۹	-۰/۴۰	۰/۰۴	۰/۳۷	۰/۱۰	D	SWAP	
۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۰۷	۰/۸۳	۰/۱۸	F	AquaCrop	
۰/۹۹	۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۵۲	-۰/۴۸	F	SWAP	
۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۱۱	۱/۲	۰/۳۳	S	AquaCrop	
۰/۹۹	-۰/۹۲	۰/۰۳	۰/۳۲	-۰/۰۴	S	SWAP	
۰/۹۹	-۰/۸	۰/۱۳	۰/۰۶	-۰/۰۱	D	AquaCrop	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
۰/۹۹	-۸/۸	۰/۱۴	۰/۰۶	-۰/۰۴	D	SWAP	
۰/۹۹	-۰/۹	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۱	F	AquaCrop	
۰/۹۹	-۴/۹	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۳	F	SWAP	
۰/۹۹	-۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۱	S	AquaCrop	
۰/۹۹	-۳/۷	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۳	S	SWAP	

*D، F و S به ترتیب آبیاری بارانی با آب شور، آبیاری بارانی با تلفیق آب شور و شیرین و آبیاری سطحی است.

نتیجه‌گیری

آب شور انجام شد. بر اساس نتایج، مدل AquaCrop در تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب بهتر از SWAP بود و در شبیه‌سازی زیست‌توده هر دو مدل دقت و کارایی تقریباً یکسانی

تحقیق حاضر برای ارزیابی دو مدل AquaCrop و SWAP تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی و شرایط استفاده از

مشابه بود. بر اساس جمع‌بندی نتایج، مدل AquaCrop مدل بهتری برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده ذرت بود. همچنین، این مدل به دلیل سادگی و دسترسی بهتر به عنوان مدل بهتر برای شبیه‌سازی ذرت در شرایط این پژوهش پیشنهاد می‌شود.

داشتند. تفکیک نتایج بر اساس نوع آبیاری نشان داد که دقت و کارایی مدل‌های AquaCrop و SWAP در تعیین عملکرد ذرت بر اساس هر روش آبیاری تغییر نکرد. در شبیه‌سازی زیست‌توده، هر دو مدل دقت مشابه داشتند لیکن نتایج مدل SWAP اندکی بهتر بود. این موضوع برای کارایی مصرف آب نیز مشاهده شد و دقت و کارایی هر دو مدل در این پارامتر نیز

منابع مورد استفاده

- Ahmadee, M., A. Khashei Siuki and M. H. Sayyari. 2015. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement in saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran). *Agroecology* 8(4): 505-520.
- Ahmadee, M., A. Khashei Siuki and S. R. Hashemi. 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., A. Khashei Siuki and M. H. Sayyari. 2014. Type and amount evaluation of natural clinoptilolite zeolites impacts on saffron (*Crocus sativus* L.) emergence. *Journal of Saffron Research* 1(2): 97-109. (In Farsi).
- Amiri, E. 2017. Evaluation of water schemes for maize under arid are in Iran using the SWAP model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(16): 1963-1976.
- Bonefante, A. and J. Bouma. 2015. The role of soil series in quantitative land evaluation when expressing effects of climate change and crop breeding on future land use. *Geroderma* 250-260: 187-195.
- Bonefante, A., A. Basile, M. Acutis, R. Mascellis, P. De, P. Manna, A. Perego and F. Terribile. 2010. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in northern Italy. *Agricultural Water Management* 97(7): 1051-1062.
- Donfack, F. Ch., 2018. Water requirements for corn yields in the northern regions of Cameroon using AquaCrop model. *Journal of Agriculture and Ecology Research* 16(3): 1-11.
- Ebrahimipak, N., M. Ahmadee, A. Egdernezhad and A. Khashei Siuki. 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 Farsi).
- Ebrahimipak, N., A. Egdernezhad, A. Tafteh and M. Ahmadee. 2019. Evaluation of AquaCrop, WOFOST, and CropSyst to simulate rapeseed yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 13(3-75): 715-726. (in Farsi).
- Egdernezhad, A., N. Ebrahimipak, A. Tafteh and M. Ahmadee. 2019. Canola irrigation scheduling using AquaCrop model in Qazvin Plain. *Water Management in Agriculture* 5(2): 53-64. (In Farsi).
- Geerts, S. and D. Raes. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96: 1275-1284.
- Hassanli, M., H. Ebrahimian and E. Mohammadi. 2016. Simulating maize yields when irrigation with water, using AquaCrop, SALTMED, and SWAP models. *Agricultural Water Management* 176: 91-99.
- Jonubi, R., V. Rezaverdinejad and H. Salemi. 2017. Enhancing field scale water productivity for several rice cultivars under limited water supply. *Paddy and Water Environment* 16(1): 125-141.
- Katerji, N., P. Campi and M. Mastrorilli. 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.
- Ma, Y., Sh. Feng, Z. Huo and X. Song. 2011. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. *Mathematical and Computer Modeling* 54(3-4): 1044-1052.
- Malik, A., A. S. Shakir, M. Ajmal, M. Jamal Khan and T. Ali Kan. 2017. Canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of Pakistan. *Water Resources Management* 31: 4275-4292.
- Masanganise, J., K. Basira, B. Chipindu, E. Mashonjowa and T. Mhizha. 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.

18. Minaei, S. 2015. Effect of sprinkler irrigation on yield and uptake of ions for corn (*zea maize*) in Ahwaz climate, PhD Thesis, Shahid Chamran University of Ahwaz.
19. Shahidi, A. and M. Ahmadee. 2014. A Manual for Learning SWAP. Kelk Zarrin Publication. Tehran. <http://kzp.ir>. (in Farsi).
20. Stricevic, R., M. Cosic, N. Djurovic, B. Pejic and L. Maksimovic. 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.
21. Van Dam, J. C., J. Huygen, J. G. Wesseling, R. A. Feddes, P. Kabat, P. E. V. Van Walsum, P. Groenendijk and C. A. Van Diepen. 1997. Theory of SWAP version 2.0, Report #71. Department Water Resources. Wageningen Agricultural University.
22. Yaghoobzadeh, M., M. Ahmadee, S. Boroomand Nasab and A. Haghayeghi Maghamam. 2017. Impact of climate change on changing trend of evapotranspiration during the growth period of irrigated and rainfed field crops by AOGCM Models. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences)* 30(4): 511-523. (in Farsi).
23. Yaghoobzadeh, M., M. Ahmadee, H. Seyyed Kaboli, Gh. R. Zamani and M. Amirabadizadeh. 2017. The evaluation of effect of climate change agricultural drought using ETDI and SPI indexes. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(4): 43-61. (in Farsi).

Determining the Accuracy and Efficiency of Water-driven and Carbon-driven Crop Models to Simulate the Yield, Biomass and Water Use Efficiency of Corn

A. Sarkohaki¹, A. Egdernezhad^{1*} and S. Minaei²

(Received: June 15-2020; Accepted: September 6-2020)

Abstract

Crop models evaluation in agriculture has been done by researchers. It helps them to determine the most appropriate crop model for the planning and simulation of crop response in different areas. Using can lead time and cost saving, helping to evaluate the effects of different situations on the crops yield, biomass and water use efficiency (WUE). Given the importance of the subject, this study was conducted for the accuracy and efficiency evaluation of AquaCrop and SWAP under three irrigation types (D: sprinkler irrigation with saline water, F: sprinkler irrigation with saline and fresh water, and S: surface irrigation) and five water qualities (S1: 2.5, S2: 3.2, S3: 3.9, S4: 4.6 and S5: 5.1 dS.m⁻¹). NRMSE results showed that the accuracy of AquaCrop for the simulation of yield, biomass and WUE was 0.07, 0.09 and 0.07, respectively. For SWAP, these were 0.12, 0.04 and 0.13, respectively. According to EF, AquaCrop results for above-mentioned parameters were 0.60, 0.90 and -4.4, and SWAP results were 0.74, 0.73 and -2.0, respectively. So, AquaCrop accuracy and efficiency were better than those of SWAP for the simulation of corn yield and biomass.

Keywords: AquaCrop, Crop Yield, Irrigation Types, Sprinkler Irrigation, SWAP.

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

2. Khuzestan Water and Power Organization, Ahvaz, Iran.

Corresponding author, Email: a_eigder@ymail.com