



شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) تحت شرایط آبیاری با استفاده از دو مدل AquaCrop و Cropsyst

محمدعلی انصاری^۱، اصلا ن آگدرنژاد^{۲*}، و نیازعلی ابراهیمی پاک^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲۹

چکیده

به‌منظور ارزیابی دو مدل AquaCrop و Cropsyst در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی، تحقیق حاضر در یک مزرعه تحقیقاتی در چهارتخته شهرکرد در دو سال زراعی با استفاده از دو تیمار مقدار تنش آبی در پنج سطح (E0، E1، E2، E3 و E4 به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ۱۰۰، ۸۵، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد تأمین نیاز آبی که بر اساس نتایج لایسیمتر تعیین شده بود) و زمان اعمال تنش در سه دوره زمانی از کشت سیب‌زمینی شامل T1، T2 و T3 به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ۵۰ روز رشد اول (کشت بذر و رشد رویشی)، دوم (رشد کامل) و سوم (رسیدن گیاه) از کل دوره رشد و مجموعاً ۳۰ داده انجام شد. از داده‌های سال اول به منظور واسنجی و داده‌های سال دوم برای صحت‌سنجی این دو مدل استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی توسط AquaCrop نشان داد که بیشترین و کمترین خطای عملکرد به ترتیب برابر با ۳/۱۵ (E1T2) و ۰/۳ (E1T3) تن در هکتار و بیشترین و کمترین خطای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۵۳/۰۵ (E3T2) و ۰/۰۳ (E4T2) کیلوگرم بر مترمکعب بود. بیشترین و کمترین خطای برآورد عملکرد توسط مدل Cropsyst به ترتیب برابر با ۳۴/۲ (E3T3) و ۳۵/۰ (E1T2) تن بر هکتار بودند. این مقادیر برای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۳۲/۰ (E3T2) و ۰/۰۳ (E1T1) کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. مقادیر آماره NRMSE عملکرد برای مدل‌های AquaCrop و Cropsyst در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۹ و ۰/۷ و در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۵ و ۰/۹ بود. مقادیر آماره EF عملکرد برای مدل AquaCrop در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۵ و برای مدل Cropsyst در این دو مرحله به ترتیب برابر با ۰/۹۰ و ۰/۷۹ بود. بنابراین، گرچه هر دو مدل دقت مطلوبی داشتند ولی AquaCrop کارایی بهتری داشت. بر اساس این نتایج، استفاده از مدل AquaCrop در تنش‌های آبی خفیف (به دلیل شبیه‌سازی بهتر واکنش گیاه به آب جذب‌شده) و کاربرد Cropsyst در تنش‌های شدیدتر (به دلیل استفاده این مدل از معادله مبتنی بر تابش) توصیه می‌شود. همچنین، کاربرد مدل Cropsyst در مرحله میانی رشد سیب‌زمینی بهتر از مدل AquaCrop است.

واژگان کلیدی: تنش آبی، مدل آب محور، مدل تابش محور، مدل‌سازی گیاهی.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از جمله مهم‌ترین منابع غذایی در ایران و جهان است (Ebrahimipak, 2014) به طوری که طبق طبقه‌بندی فائو در رتبه پنجم مهم‌ترین محصولات غذایی طبقه‌بندی شده است (Anonymous, 2013). با توجه به نیاز آبی بالای این گیاه زراعی (Fallahgh Ghalhari *et al.*, 2016)، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری به منظور افزایش کارایی مصرف (Hassan *et al.*, 2002; Nagaz *et al.*, 2007) ضروری به نظر می‌رسد. با این وجود عملکرد سیب‌زمینی تحت تنش آبی کاهش می‌یابد (Hassan *et al.*, 2002; Kiziloglu *et al.*, 2006) و میزان کاهش عملکرد بر اساس زمان و مقدار تنش وارد شده متفاوت است (Yuan *et al.*, 2003).

بررسی واکنش این گیاه تحت شرایط مختلف تنش آبی نیازمند انجام آزمایش‌های متعدد در هر مکان و زمان است که این مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است. به همین دلیل روش‌های غیرمستقیمی برای بررسی واکنش گیاهان به شرایط کم‌آبی ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به شبیه‌سازی عملکرد با استفاده از مدل‌های گیاهی اشاره کرد (Geerts and Raes, 2009; Raes *et al.*, 2009). از جمله این مدل‌های گیاهی می‌توان به AquaCrop اشاره کرد. این مدل آب محور توسط سازمان خواروبار کشاورزی (فائو) بسط داده شد و به دلیل ویژگی‌هایی از جمله دارا بودن محیط کاربرپسند، نیاز به داده‌های کم و دقت قابل قبول توسط بسیاری از محققان مورد توجه قرار گرفته است (Heng *et al.*, 2009; Esmaeilian and Ramroudi, 2018). از این مدل تاکنون در

مطالعات بسیاری استفاده شده است که از جمله آنها می‌توان به شبیه‌سازی عملکرد گیاهان جو، ذرت، چغندر قند و ذرت اشاره کرد (Heng *et al.*, 2009; Araya *et al.*, 2010; Stricevic *et al.*, 2011). علی‌رغم اینکه این مدل در این تحقیقات نتایج مطلوبی ارائه داده است لیکن در برخی شرایط مانند تنش‌های آبی ممکن است از دقت آن کاسته شود. به همین دلیل برخی محققان مدل تابش محور Cropsyst را که توسط استوکل و نلسون ارائه شده است (Stockle and Nelson, 1996) را مورد استفاده قرار داده‌اند. مطالعات انجام‌شده روی گیاهان ذرت (Bellocchi *et al.*, 2002)، گندم (Moriondo *et al.*, 2007) و یونجه (Confalonieri and Bocchi, 2005) از جمله این تحقیقات است.

از جمله تحقیقات انجام شده روی گیاه سیب‌زمینی با استفاده از مدل AquaCrop می‌توان به مطالعات گارسیا-ویلا و فررز (Garcia-Vila and Fereres, 2012) اشاره کرد که با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در جنوب اسپانیا به ارزیابی مدل AquaCrop به منظور تأمین نیاز آبیاری ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد پرداختند. پراتا و استوکل (Peralta and Stockle, 2002) نیز با استفاده از مدل Cropsyst به شبیه‌سازی شرایط مزرعه‌ای تحت کشت سیب‌زمینی پرداختند.

بر اساس مرور منابع، مطالعات انجام‌شده با استفاده از دو مدل AquaCrop و Cropsyst بر سیب‌زمینی محدود است. از طرفی تاکنون دقت این دو مدل در تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت سیب‌زمینی باهم مقایسه نشده است. بر این اساس، نیاز است تا از مدلی استفاده شود که علاوه بر کاهش هزینه‌ها، دقت مطلوبی نیز

$$ET_c = I + R - D \pm (SW_2 - SW_1) \quad (1)$$

که در این رابطه، ET_c تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (میلی متر)، I میزان آب آبیاری مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی (میلی متر)، R میزان بارندگی (میلی متر)، D عمق آب زهکش شده (میلی متر)، SW_2 رطوبت لایه خاک در ابتدای دوره اندازه گیری (میلی متر) و SW_1 رطوبت لایه خاک در انتهای دوره اندازه گیری (میلی متر) بود. با اندازه گیری میزان رطوبت خاک درون لایسیمتر با استفاده از نوترون متر، مقادیر آب آبیاری هر کرت مطابق رابطه (۲) محاسبه شده و آب آبیاری تا ابتدای کرت توسط لوله منتقل شد. سپس با استفاده از کنتور با دقت بالا مقدار آب آبیاری اندازه گیری و در اختیار هر کرت قرار داده شد.

$$V = A \times I \quad (1)$$

که در این رابطه، V حجم آب آبیاری مورد نیاز (لیتر)، I مقدار آب آبیاری (میلی متر) و A مساحت هر کرت (مترمربع) بود.

پس از رسیدن محصول، برداشت در انتهای مهر ماه انجام شد. در جداول ۱ و ۲ به ترتیب خصوصیات خاک آزمایش و آب آبیاری نشان داده شده است.

مدل CropSyst از یکی از دو رابطه (۲) یا (۳) برای شبیه سازی تولید زیست توده استفاده می کند. این دو رابطه بر اساس دو رویه ای اساسی است که در مدل CropSyst برای شبیه سازی عملکرد گیاهان مختلف در نظر گرفته شده است. در رابطه (۲) میزان عملکرد بر اساس تابش جذب شده توسط گیاه و در رابطه (۳) مقدار عملکرد بر اساس تعرق شبیه سازی می شود.

$$AGB_{IPAR} = RUE \times IPAR \times T_{lim} \quad (2)$$

داشته باشد. به همین دلیل لازم است این دو مدل پرکاربرد با هم مقایسه شوند (Huang et al., 2017). هدف از این تحقیق، مقایسه دو مدل AquaCrop و Cropsyst در شبیه سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب زمینی تحت شرایط تنش متفاوت است.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت کرت های خرد شده و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در دو سال زراعی و در یک مزرعه تحقیقاتی در چهارتخته شهرکرد به مختصات جغرافیایی $56^{\circ} 50'$ شرقی و $32^{\circ} 18'$ شمالی و ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا انجام شد. بذور در کرت هایی به مساحت ۱۵ مترمربع به میزان ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در اوایل خرداد در دو سال زراعی کشت شدند. تیمارهای آزمایش شامل مقدار تنش آبی در پنج سطح (E0, E1, E2, E3, E4) به ترتیب نشان دهنده ۱۰۰، ۸۵، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد تأمین نیاز آبی) و زمان اعمال تنش در سه دوره زمانی از کشت سیب زمینی [T1, T2, T3] به ترتیب نشان دهنده ۵۰ روز رشد اول (استقرار بذر و رشد رویشی)، دوم (مرحله میانی) و سوم (رسیدن فیزیولوژیکی گیاه) از کل دوره رشد] و با در نظر گرفتن سه تکرار در طول آزمایش اعمال شد. آبیاری کرت ها بر اساس داده های برداشت شده از یک لایسیمتر به عمق سه متر در مجاورت مزرعه آزمایشی انجام می شد. با توجه به این که شرایط موجود در این لایسیمتر مشابه مزرعه آزمایشی بود؛ با تعیین مقدار آب مورد نیاز در لایسیمتر بر اساس رابطه (۱)، آب آبیاری مورد نیاز با استفاده از لوله به هر کرت منتقل و با استفاده از کنتور اندازه گیری می شد. سپس به صورت ثقلی در سطح کرت پخش می گردید.

در این رابطه، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و ضریب گیاهی هستند. پارامتر K_s بیانگر تنش‌های هوادهی ($K_{s_{aer}}$)، بسته شدن روزنه‌ها ($K_{s_{sto}}$) و تنش شوری ($K_{s_{sto,salt}}$) می‌باشد و تعیین پارامترهای آنها در این پژوهش مد نظر قرار گرفتند. پیش از واسنجی، با استفاده از رابطه (۷) میزان حساسیت هر دو مدل به پارامترهای ورودی تعیین شد (Geerts and Raes, 2009).

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (7)$$

که در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر بر اساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد پارامتر مورد نظر بر اساس 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 می‌شد و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته می‌شدند (Geerts and Raes., 2009). در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $Sc > 15$ حساسیت بالا، $2 < Sc < 15$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). در مرحله واسنجی، با استفاده از داده‌های سال اول کشت به تعیین مقادیر پارامترهای هر دو مدل گیاهی پرداخته شد. سپس صحت‌سنجی این دو مدل با استفاده از داده‌های سال دوم انجام شد. برای ارزیابی دقت هر دو مدل مورد استفاده، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) در نظر گرفته

$$AGB_T = T_{act} \times \frac{BTR}{VPD} \quad (3)$$

در این رابطه، AGB_T و AGB_{IPAR} زیست‌توده گیاه، RUE پارامتر تبدیل نور به زیست‌توده، IPAR تابش جذب شده، T_{lim} پارامتر محدوده‌کننده دمایی، T_{act} تعرق واقعی و BTR ضریب تعرق-زیست‌توده است. بدین ترتیب در این مدل، میزان تولید ماده خشک بر اساس جذب نور یا آب شبیه‌سازی می‌گردد و این عمل به محدودیت یکی از این دو پارامتر بستگی دارد که در این پژوهش از روش نخست استفاده شد.

مدل AquaCrop نیز با استفاده از تبخیر-تعرق (رابطه ۴) (Doorenbos and Kassam, 1979) و تفکیک آن به دو جزء تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr) به شبیه‌سازی عملکرد می‌پردازد. البته در این مدل مفهوم پوشش تاج گیاه بر اساس رابطه (۵) جایگزین شاخص سطح برگ شده است.

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

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (5)$$

در این رابطه، Y_a و Y_x به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_x و ET_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، 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. بدین ترتیب میزان تعرق گیاه بر اساس پوشش تاج از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

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

است. 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 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که مدل AquaCrop نسبت به تغییرات افزایشی و کاهش‌ی "رطوبت در ظرفیت زراعی" و مقادیر افزایشی "مدت زمان کاشت تا برداشت محصول" و "مدت زمان کاشت تا دوره پیری" حساسیت زیاد داشت (جدول ۳). این مدل نسبت به تغییرات افزایشی و کاهش‌ی "ضریب گیاهی برای تعرق" و مقادیر کاهش‌ی "رطوبت در حالت اشباع" و "عمق مؤثر ریشه" حساسیت کم داشت. حساسیت این مدل نسبت به تغییرات سایر پارامترها متوسط بود. نتایج تحلیل حساسیت مدل Cropsyst نشان داد که این مدل نسبت به تغییرات افزایشی دو پارامتر "نسبت تعرق واقعی به پتانسیل محدودکننده سطح برگ" و "دمای پایه" حساسیت کم و نسبت به تغییرات سایر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشت. نتایج واسنجی برخی از پارامترهای مورد استفاده در این دو مدل در جدول (۴) نشان داده شده است.

مقادیر شاخص‌های آماری در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی هر دو مدل در جدول (۵) نشان داده شده است. بر اساس مقادیر آماره‌های RMSE و MBE در مرحله واسنجی، مدل AquaCrop در برآورد عملکرد و کارایی مصرف آب دقت قابل قبولی داشت. مقادیر آماره‌ی NRMSE نیز نشان داد که دقت این مدل برای هر دو پارامتر عملکرد و کارایی مصرف آب عالی بود.

شد (Ahmadede *et al.*, 2015). این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۸) تا (۱۲) نشان داده شده‌اند.

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

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\frac{n}{\bar{O}_i}}} \quad (9)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (10)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (12)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (13)$$

که 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 می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی مورد نظر مقدار پارامتر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچک‌تری به دست داده است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده‌ی دقت عالی مدل است. همچنین، مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف

عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با AquaCrop به‌ترتیب برابر با ۱/۷۳، ۰/۳۶ و ۰/۹۱ تن بر هکتار بود. مقادیر مشابه برای مدل Cropsyst به‌ترتیب برابر با ۱/۶۰، ۰/۶۸ و ۱/۰۶ تن بر هکتار بود. در مدل AquaCrop با افزایش تنش مقدار خطا نیز افزایش یافت. این نتایج با تفکیک یافته‌ها برای هر دو مدل نسبت به تنش‌های مختلف مشهود است (جدول ۷). در مدل Cropsyst نیز تقریباً همین روند مشاهده شد. با مقایسه نتایج متناظر هر دو مدل در هر تنش، مشاهده شد که دقت مدل AquaCrop در اکثر موارد بهتر از مدل Cropsyst بود (جدول ۷). بر اساس زمان اعمال تنش، دقت مدل AquaCrop در مرحله T2 نسبت به دو مرحله T1 و T3 کمتر بود. اختلاف نتایج شبیه‌سازی‌شده توسط این مدل در مراحل T1، T2 و T3 به‌ترتیب ۲/۲، ۵/۲ و ۰/۸ درصد کمتر از مقادیر واقعی بود. نتایج به‌دست‌آمده برای مدل Cropsyst نیز نشان داد که اختلاف نتایج این مدل در مراحل T1، T2 و T3 به‌ترتیب ۱/۸، ۱/۷ و ۲/۶ درصد بود. بنابراین، در زمان اعمال تنش بیشتر به سیب‌زمینی و به خصوص در مرحله حساس از رشد (T2)، دقت مدل AquaCrop کاهش یافت. این نتایج در شکل (۲) نیز قابل‌مشاهده است. با این‌وجود، مدل Cropsyst واکنش یکسانی به کاهش آب مصرفی نشان داد. شاید بتوان تغییرات تابش خورشیدی را عامل حساس‌تری نسبت به کمبود آب برای این مدل بیان کرد. این موضوع با مقایسه نتایج برای زمان و مقدار تنش قابل‌توجه است. نتایج شبیه‌سازی هم‌زمان دو عامل مقدار و زمان تنش نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده با مدل AquaCrop به‌ترتیب برابر با ۳/۱۵ (E1T2) و ۰/۳

آماره‌های EF و d نیز نشان داد که کارایی مصرف این مدل در مرحله واسنجی برای هر دو پارامتر مورد نظر قابل قبول بود. نتایج این مدل برای دو پارامتر مورد نظر در مرحله واسنجی نیز قابل قبول بود. این مدل در مرحله صحت‌سنجی نیز نتایج قابل قبولی داشت به‌طوری‌که مقادیر آماره‌های RMSE، NRMSE و MBE برای هر دو پارامتر عملکرد و کارایی قابل قبول بود. مقادیر EF و d نیز نشان داد که مدل AquaCrop در شبیه‌سازی دو پارامتر مورد بررسی در مرحله صحت‌سنجی کارایی مناسبی داشت. نتایج برای مدل Cropsyst نیز نشان داد که این مدل در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی دقت مناسبی داشت. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده برای هر دو مدل AquaCrop و Cropsyst نشان داد که دقت مدل AquaCrop اندکی بهتر از مدل Cropsyst بود. با این‌وجود هر دو مدل دچار خطای کم‌برآوردی برای عملکرد و کارایی مصرف آب در مرحله صحت‌سنجی شدند. همچنین، مقایسه هر دو مدل در سطوح مختلف تنش نشان داد که مدل AquaCrop در تنش‌های آبی شدیدتر دقت کمتری نسبت به مدل Cropsyst داشت (جدول ۶).

در شکل (۱) همبستگی بین مقادیر مشاهداتی عملکرد و مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط دو مدل AquaCrop و Cropsyst نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، همبستگی مقادیر شبیه‌سازی‌شده با Cropsyst حدود ۴/۷ درصد بیشتر از همبستگی نتایج به‌دست‌آمده مدل AquaCrop بود. بر اساس مقدار تنش وارد شده به گیاه سیب‌زمینی، عملکرد با استفاده از دو مدل مورد نظر شبیه‌سازی شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که بیشترین، کمترین و متوسط اختلاف

اختلاف نتایج شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مقادیر واقعی به ترتیب برابر با ۰/۴۴ و ۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر برای مدل Cropsyst به ترتیب برابر با ۰/۳۰ و ۰/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. مقایسه مقادیر میانگین این پارامتر برای تنش‌های مختلف نشان داد که افزایش تنش سبب افزایش خطای شبیه‌سازی این پارامتر در هر دو مدل مورد استفاده شد (جدول ۷). بر اساس زمان اعمال تنش، خطای مدل AquaCrop در مرحله T2 بیشتر از دو مرحله دیگر بود. مدل Cropsyst در هر دو مرحله T2 و T3 خطای درخور توجهی داشت. با مقایسه متناظر نتایج هر دو مدل برای هر مرحله مشاهده شد که در مراحل T1 و T2 دقت مدل Cropsyst بهتر از AquaCrop بود. نتایج شبیه‌سازی هم‌زمان دو تیمار مقدار و زمان تنش بر کارایی مصرف آب نشان داد که حداکثر، حداقل و متوسط اختلاف نتایج شبیه‌سازی با مدل AquaCrop و مقادیر واقعی به ترتیب برابر با ۰/۵۳ (E3T2)، ۰/۰۳ (E4T2) و ۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۶). این نتایج برای مدل Cropsyst برابر به ترتیب برابر با ۰/۳۲ (E3T2)، ۰/۰۳ (E1T1) و ۰/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی دو مدل AquaCrop و Cropsyst در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در این تحقیق انجام شد. نتایج نشان داد که هر دو مدل نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشتند. آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد که مدل AquaCrop در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی دقت مناسبی برای تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب داشت. نتایج

(E1T3) تن در هکتار بود (شکل ۳). پس از تیمار E1T2، مقادیر شبیه‌سازی برای تیمارهای E2T2، E3T1 و E4T2 نیز اختلاف زیادی با مقادیر مشاهداتی داشت.

نتایج مشابه برای مدل Cropsyst نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۲/۳۴ (E3T3) و ۰/۳۵ (E1T2) تن بر هکتار بود. پس از تیمار E3T3، بیشترین خطای شبیه‌سازی برای تیمارهای E3T1، E4T1 و E4T2 مشاهده شد. بر اساس این نتایج، گرچه دقت مدل Cropsyst کمتر از مدل AquaCrop بود؛ لیکن این مدل حساسیت کمتری نسبت به AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی تحت تنش آبی داشت. بسیاری از محققان کاهش دقت AquaCrop تحت تنش آبی را به‌عنوان مهم‌ترین ضعف این مدل بیان کرده‌اند (Heng *et al.*, 2009).

نتایج همبستگی بین کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط هر دو مدل AquaCrop و Cropsyst در شکل (۴) نشان داده شده است. مقادیر همبستگی نتایج Cropsyst به میزان ۹/۴ درصد بیشتر از AquaCrop بود. حساسیت کمتر مدل Cropsyst به تنش آبی و پراکندگی کمتر نتایج در مدل Cropsyst نسبت به AquaCrop، سبب بیشتر بودن مقادیر آماره R^2 در هر دو پارامتر عملکرد و کارایی مصرف آب بود.

اختلاف نتایج شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب توسط هر دو مدل مورد استفاده بر اساس مقدار تنش و زمان اعمال آن به ترتیب در شکل (۵) نشان داده شده است. بر اساس مقدار تنش وارد شده به سیب‌زمینی، بیشترین و کمترین

ترتیب برابر با $2/34$ (E_3T_3) و $0/35$ (E_1T_2) تن بر هکتار بود. این مقادیر برای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با $0/32$ (E_3T_2) و $0/03$ (E_1T_1) کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. جمع‌بندی نتایج نشان داد که هر دو مدل دقت قابل قبولی برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب داشتند لیکن در تنش‌های آبی پایین استفاده از مدل AquaCrop و در تنش‌های شدیدتر استفاده از مدل Cropsyst پیشنهاد می‌شود.

این آماره‌ها برای مدل Cropsyst نیز قابل قبول بود لیکن دقت کمتری نسبت به مدل AquaCrop داشت. نتایج شبیه‌سازی توسط AquaCrop نشان داد که بیشترین و کمترین خطای عملکرد به ترتیب برابر با $3/15$ (E_1T_2) و $0/3$ (E_1T_3) تن در هکتار و بیشترین و کمترین خطای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با $0/53$ (E_3T_2) و $0/03$ (E_4T_2) کیلوگرم بر مترمکعب بود. بیشترین و کمترین خطای برآورد عملکرد توسط مدل Cropsyst به

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

Table 1- Physico-chemical characteristics of soil

Depth عمق	Soil texture بافت خاک	Bulk density $g.cm^{-3}$	PWP %w/w	FC	pH	EC $dS.m^{-1}$	Organic carbon %	Total N %	P ppm	K
0-30	Silty- clay- loam	1.48	11.6	21.4	8.07	0.35	0.55	0.72	8.15	384
30-60	Silty- loam	1.48	12.2	21.4	8.07	0.32	0.48	0.72	7.7	293

جدول ۲- نتایج کیفیت آب آبیاری

Table 2-Irrigation properties

SO_4^-	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	pH	EC $dS.m^{-1}$
0.8	0.4	2.9	-	-	0.7	3.4	3.4	7.7	0.37

جدول ۳- ضریب حساسیت برخی پارامترهای مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و Cropsyst
 Table 3- Scensitivity factor for some AquaCrop and Cropsyst input parameter

Parameter پارامتر	Sc (-25%)	Sc (+25%)	Scensitivity rate میزان حساسیت
AquaCrop			
Moisture in PWP رطوبت در نقطه پژمردگی	15.2	15.7	High
Moisture in FC رطوبت در ظرفیت زراعی	10.5	7.5	Medium
Moisture in saturation رطوبت اشباع	1.4	2.6	low-medium
Basal crop coefficient for transpiration ضریب گیاهی برای تعرق	2.6	0.23	Low
Maximum effective rooting depth حداکثر عمق ریشه	1.4	2.6	low-medium
Time from sowing to emergence زمان سبز شدن	6.2	6.9	Medium
Time from sowing to maximum canopy زمان رسیدن به بیشینه پوشش گیاهی	10.9	8.1	Medium
Time from sowing to senescence زمان یبیری	2.1	20.5	medium-high
Time from sowing to maturity زمان رسیدن به بلوغ	4.5	22.1	medium-high
Cropsyst			
Above ground biomass-transpiration coefficient ضریب زیست توده-تعرق	2.5	6.1	Medium
Light to above ground biomass conversion نرخ تبدیل نور به زیست توده	8.0	3.5	Medium
Actual to potential transpiration ratio that limits root growth نسبت تعرق واقعی به پتانسیل محدودکننده رشد ریشه	4.9	4.4	Medium
Actual to potential transpiration ratio that limits leaf area growth نسبت تعرق واقعی به پتانسیل محدودکننده رشد سطح برگ	2.3	1.7	Medium-low
Wilting leaf water potential پتانسیل پژمردگی برگ	3.0	4.1	Medium
Extinction coefficient for solar radiation ضریب نابودی نور	5.8	9.9	Medium
Base temperature دمای پایه	2.7	1.1	Medium-low
Cutoff temperature دمای حداکثر	2.4	5.2	Medium
Nitrogen uptake adjustment میزان جذب نیتروژن	9.1	11.3	Medium

جدول ۴- برخی پارامترهای ورودی مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و Cropsyst
Table 4- Values for some input AquaCrop and Cropsyst parameters

Parameter	Unit	Value	Description
AquaCrop			
دمای پایه Base temperature	°C	2	Default
حداکثر دمای Maximum temperature	°C	26	Default
Water productivity normalized بهره‌وری آب نرمال شده	gr.m ⁻²	20	Calibrated
پوشش اولیه گیاه Initial canopy cover	%	5	Calibrated
پوشش حداکثر گیاه Maximum canopy cover	%	92	Calibrated
Soil water depletion threshold for canopy expansion-Upper تخلیه رطوبت خاک برای توسعه گیاه بالایی	-	0.2	Calibrated
Soil water depletion threshold for canopy expansion-Lower تخلیه رطوبت خاک برای توسعه گیاه پایینی	-	0.8	Calibrated
Canopy growth coefficient ضریب توسعه پوشش	%/day	15.5	Calibrated
Canopy decline coefficient ضریب زوال پوشش	%/day	1.9	Calibrated
Basal crop coefficient for transpiration ضریب گیاهی برای تعرق	%/day	1.4	Calibrated
Plant density تراکم کشت	kg/ha	2500	Observed
Time from transplanting to maximum rooting depth زمان رسیدن به حداکثر ریشه	day	100	Observed
Reference harvest index شاخص برداشت مرجع	%	78	Calibrated
Lower ECe threshold حد بالایی آستانه تنش شوری	dS.m ⁻¹	2	Default
Upper ECe threshold حد پایینی آستانه تنش شوری	dS.m ⁻¹	8	Calibrated
Shape factor for salinity stress عامل شکل تنش شوری	-	Linear	Calibrated
Cropsyst			
Above ground biomass-transpiration coefficient ضریب زیست توده-تعرق	KP. Kg. m ⁻³	3	Calibrated
Light to above ground biomass conversion نرخ تبدیل نور به زیست توده	Kg. MJ ⁻¹	0.3	Calibrated
Actual to potential transpiration ratio that limits root growth نسبت تعرق واقعی به پتانسیل محدود کننده رشد ریشه	-	0.7	Calibrated
Actual to potential transpiration ratio that limits leaf area growth نسبت تعرق واقعی به پتانسیل محدود کننده رشد سطح برگ	-	0.5	Calibrated
Wilting leaf water potential پتانسیل پژمردگی برگ	Pa	-1600	Calibrated
Extinction coefficient for solar radiation ضریب نابودی نور	-	0.4	Calibrated
دمای پایه Base temperature	°C	2	Calibrated
دمای حداکثر Cutoff temperature	°C	26	Calibrated
Nitrogen uptake adjustment میزان جذب نیتروژن	-	1.5	Calibrated

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

Table 5-Values of statistical criteria for simulating potato in calibration and validation stages

Crop Model مدل گیاهی	Parameter پارامتر	Stage مرحله	d	EF	MBE	NRMSE	RMSE	CV
AquaCrop	Yield عملکرد	Calibration	0.99	0.99	-0.25	0.09	2.1	-
		Validation	0.99	0.95	-0.73	0.05	1.5	0.116
	Water use efficiency کارایی مصرف آب	Calibration	0.99	0.99	-0.025	0.03	0.4	-
		Validation	0.99	0.97	-0.022	0.06	0.27	0.101
Cropsyst	Yield عملکرد	Calibration	0.99	0.90	-1.45	0.07	2/4	-
		Validation	0.99	0.79	-2.26	0.09	3.1	0.112
	Water use efficiency کارایی مصرف آب	Calibration	0.99	0.30	0.15	0.06	0.3	-
		Validation	0.99	-1.90	-0.19	0.05	0.51	0.094
داده‌های مشاهداتی	ضریب تغییرات عملکرد (C.V. Yield)		0.091	ضریب تغییرات کارایی مصرف آب (C.V. Water use efficiency)				0.083

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی در تنش‌های مختلف

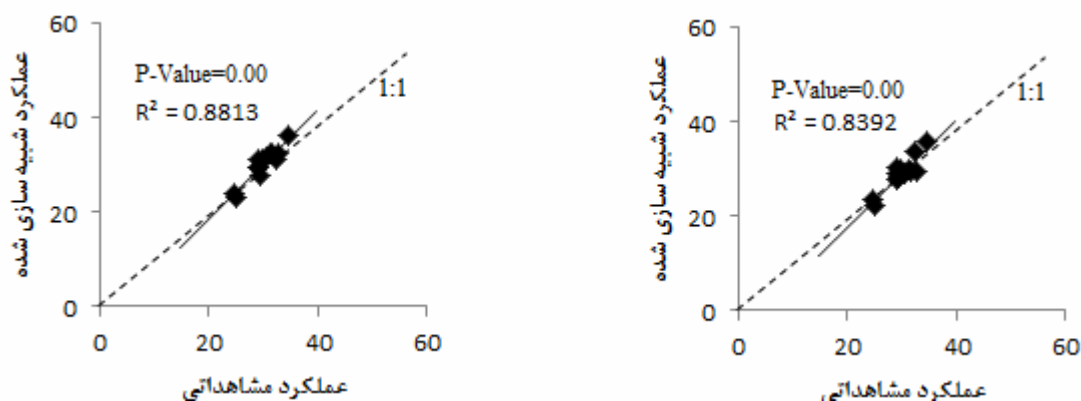
Table 5-Values of statistical criteria for simulating potato in different irrigation stress

سطوح تنش Irrigation stress level	آماره‌ها Statistical criteria	عملکرد Yield		کارایی مصرف آب Water use efficiency	
		AquaCrop	CropSyst	AquaCrop	CropSyst
E1	MBE	-0.58	1.26	-0.07	-0.01
	RMSE	1.93	1.66	0.13	0.03
	EF	0.57	0.06	0.95	0.99
	NRMSE	0.06	0.05	0.03	0.01
	d	0.99	0.99	0.99	0.99
E2	MBE	-1.40	2.25	-0.19	0.07
	RMSE	1.42	2.28	0.19	0.08
	EF	-1.14	-4.50	-0.99	0.66
	NRMSE	0.04	0.07	0.04	0.02
	d	0.99	0.99	0.99	0.99
E3	MBE	0.36	0.46	-0.36	-0.26
	RMSE	1.30	2.11	0.39	0.27
	EF	0.53	-0.22	-0.08	0.62
	NRMSE	0.04	0.06	0.10	0.06
	d	0.99	0.99	0.99	0.99
E4	MBE	-1.73	0.38	0.18	-0.25
	RMSE	1.86	0.76	0.21	0.25
	EF	0.46	0.91	-1.52	-2.79
	NRMSE	0.07	0.03	0.04	0.05
	d	0.99	0.99	0.99	0.99

جدول ۷- مقایسه میانگین نتایج عملکرد (تن بر هکتار) و کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) مدل‌های AquaCrop و CropSyst در سطوح مختلف تنش

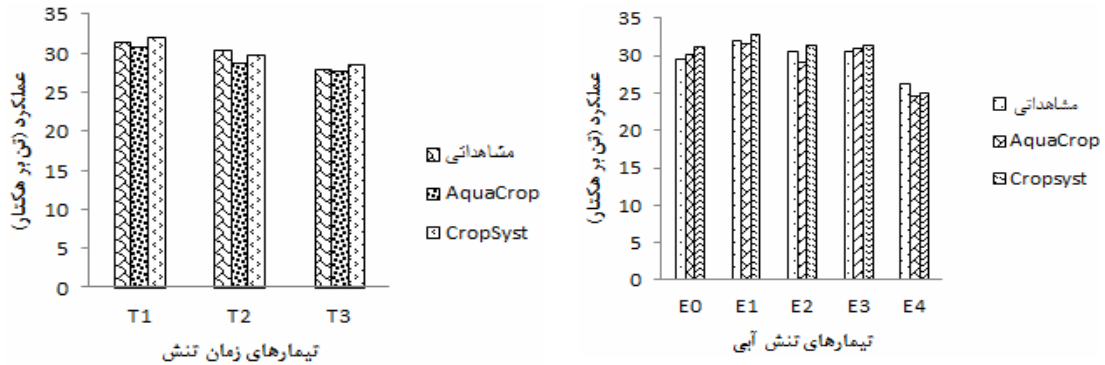
Table 7- Comparison of average results for yield ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) and water use efficiency ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) using AquaCrop and Cropsyst in different irrigation stress

سطوح تنش Irrigation stress level	عملکرد Yield			کارایی مصرف آب Water use efficiency		
	مشاهداتی Observation	AquaCrop	Cropsyst	مشاهداتی Observation	AquaCrop	Cropsyst
E0	29.6	30.1	31.2	3.9	3.5	3.6
E1	32.1	31.5	32.7	4.3	4.2	4.2
E2	30.5	29.1	31.4	4.1	4.0	4.1
E3	30.6	30.9	31.4	4.2	3.9	4.0
E4	26.3	24.5	24.9	4.3	4.1	4.0



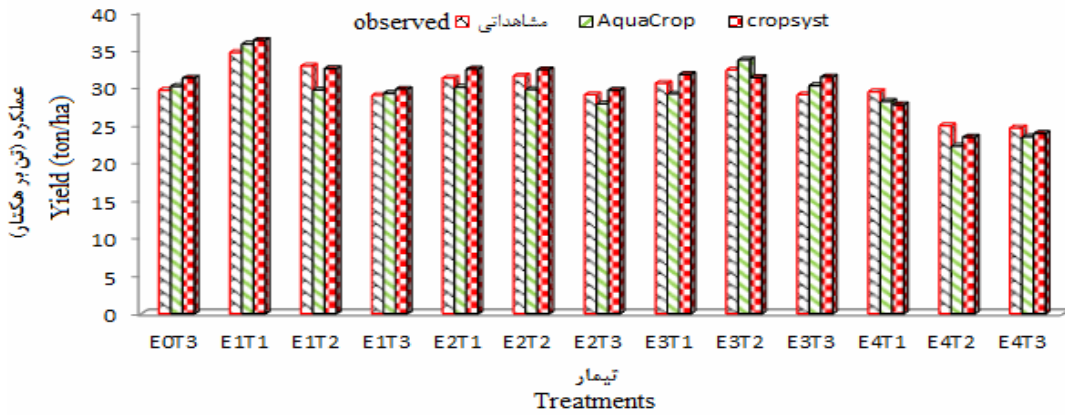
شکل ۱- همبستگی مقادیر عملکرد (تن بر هکتار) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop (سمت راست، P-Value=0.00) و Cropsyst (سمت چپ، P-Value=0.00)

Figure 1- Correlation between Actual and simulated Yield ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) using AquaCrop (Right side, P-Value=0.00) and Cropsyst (left side, P-Value=0.00)



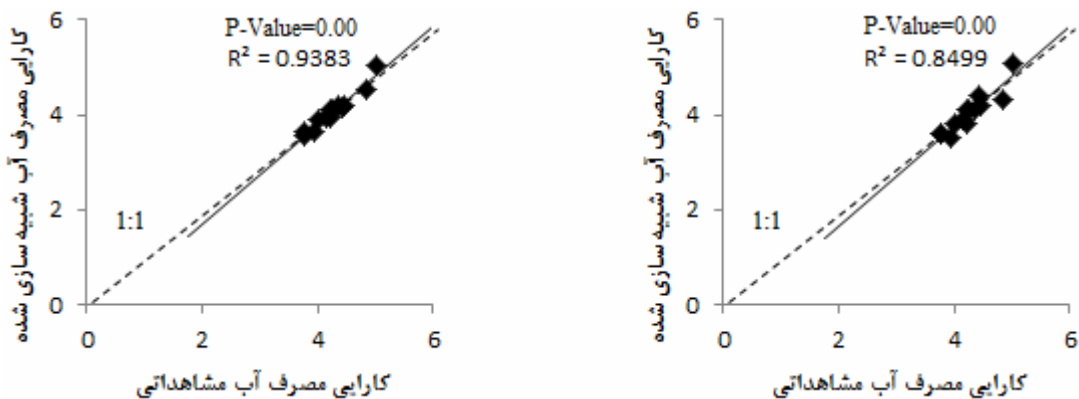
شکل ۲- مقایسه عملکرد (تن بر هکتار) شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop و Cropsyst با مقادیر مشاهداتی در مقادیر مختلف تنش آبی

Figure 2-Comparison of simulated yield (t.ha⁻¹) using AquaCrop and Cropsyst in different water stresses amount (Right side) and time (Left Side)



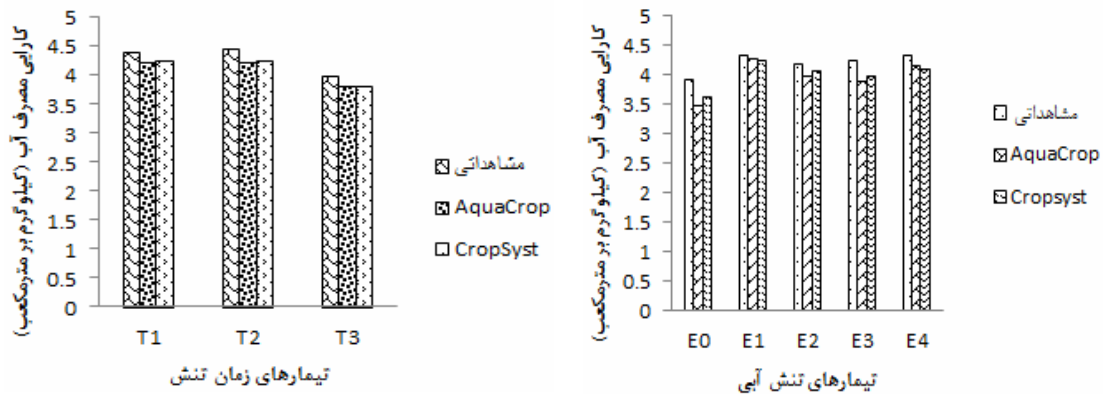
شکل ۳- مقایسه عملکرد (تن بر هکتار) شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop و Cropsyst با مقادیر مشاهداتی

Figure 3-Comparison of simulated yield (t.ha⁻¹) using AquaCrop and Cropsyst



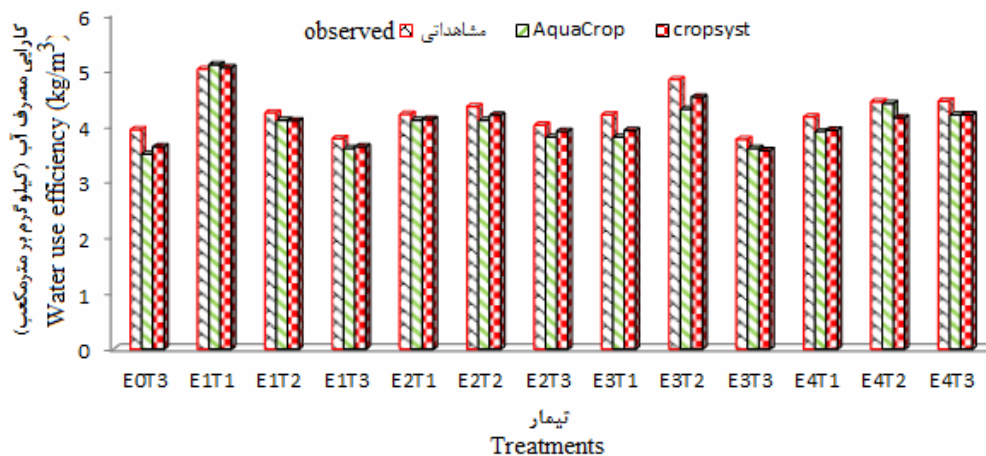
شکل ۴- همبستگی مقادیر کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop (سمت راست، P-Value=0.00) و Cropsyst (سمت چپ، P-Value=0.00)

Figure 4-Correlation between Actual and simulated water use efficiency (kg.m⁻¹) using AquaCrop (Right side, P-Value=0.00) and Cropsyst (left side, P-Value=0.00)



شکل ۵- مقایسه کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop و Cropsyst با مقادیر مشاهداتی در مقادیر مختلف تنش آبی

Figure 5-Comparison of simulated water use efficiency (kg.m^{-3}) using AquaCrop and Cropsyst in different water stresses amount (Right side) and time (Left side)



شکل ۶- مقایسه کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop و Cropsyst با مقادیر مشاهداتی

Figure 6-Comparison of simulated water use efficiency (kg.m^{-3}) using AquaCrop and Cropsyst

References

منابع مورد استفاده

- Ahmadede, 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. (In Persian).
- Anonymous. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistic division. [online: <http://faostat3fao.org/faostatgateway/go/to/download/Q/QC/S;> November11.
- Araya, A., S. Habtu, K.M. Hadgu, A. Kebede, and T. Dejene. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barely. *Agricultural Water Management*. 97: 1838–1846.
- Bellocchi, G., N. Silvestri, M. Mazzoncini, and S. Menini. 2002. Using the CropSyst model in continuous rainfed maize (*Zea mays* L.) under alternative managment option. *Italian Journal of Agronomy*. 6: 43-56.
- Confalonieri, R., and S. Bocchi. 2005. Evaluation of CropSyst for simulation the yield of flooded rice in Northern Italy. *Europian Journal of Agronomy*. 23: 315-326.
- Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Rome, 193 p.
- Ebrahimipak, N.A. 2014. Determination of the potato yield response factor (Ky) to deficit irrigation in different growth stages in shahrekord. *Irrigation and Water Engineering*. 4(15): 39-50. (In Persian).
- Esmaeilian, Y., and M. Ramroudi. 2018. Evaluation of AquaCrop model in simulating yield and water use efficiency of three corn hybrids under hot-dry climatic conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(47): 355-376. (In Persian).
- Fallahgh Ghalhari, Gh., M. Baaghideh, and H. Rezaei. 2016. Estimation for potato products water requirement in Torbat Heidariyah region and determining the actual evapotranspiration based on the reference evapotranspiration. *Journal Management System*. 14(2): 49-60.
- Garcia-Vila, M., and E. Fereres. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. *European Jornal of Agronomy*. 36(1): 21-31.
- Geerts, S., and D. Raes. 2009. Defecit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*. 96: 1275-1284.
- Hassan, A.A., A.A. Sarkar, M.H. Ali, and N.N. Karim. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stage on the yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 5(2): 128-134.
- Heng, L.K., T.C. Hsiao, S. Evett, T. Howell, and P. Steduto. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. 101(3): 488-498.
- Huang, X., G. Huang, Ch. Yu, Sh. Ni, and L. Yu. 2017. A multiple crop model ensemble for improving broadscale yield prediction using Bayesian model averaging. *Field Crop Research*. 211: 114-124.

- Kiziloglu, F.M., U. Sahin, T. Tune, and S. Diler. 2006. The effect of deficit irrigation on potato evapotranspiration and tuber yield under cool season and semiarid climatic conditions. *Journal of Agronomy*. 5(2): 284-288.
- Moriondo, M., F. Maselli, and M. Bindi. 2007. A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. *European Journal of Agronomy*. 26: 266-274.
- Nagaz, K., M.M. Masmoudi, and N.B. Mechlia. 2007. Soil salinity and yield of drip – irrigated potato under different irrigation regimes with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. *Journal of Agronomy*. 6(2): 324-330.
- Peralta, J.M., and C.O. Stockle. 2002. Dynamics of nitrate leaching under irrigation potato rotation in Washington State: a long-term simulation study. *Agricultural, Ecosystems & Environment*. 88(1): 23-34.
- Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, and E. Fereres. 2009. AquaCrop— the FAO crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*. 101: 438–447.
- Stockle, C.O., and R.L. Nelson. 1996. Cropsyst user's manual (Version 2.0). Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.
- 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.
- Yuan, B.Z., S. Nishiyama, and Y. Kang. 2003. Effect of different irrigation regimes on the growth and yield of drip irrigated potato. *Agricultural Water Management*. 63: 153-167.

Simulating of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield under Different Irrigation Conditions using AquaCrop and Cropsyst Models

Mohammad Ali Ansari¹, Aslan Egdernezhad^{2*}, and Niaz Ali Ebrahimipak³

Received: December 2018, Revised: 14 March 2019, Accepted: 20 April 2019

Abstract

To evaluate AquaCrop and Cropsyst models for simulating yield and water use efficiency (WUE), this research was performed at the Research Station in ChaharTakhteh, Shahrekord, during 1998-1999, by considering water stress amount at five levels (E0, E1, E2, E3, and E4 indicating 100, 85, 70, 50, and 30 percent of crop water needed according to lysimeter data, respectively) in three periods during potato production (T1, T2, and T3 indicating 50, 100, and 150 days after sowing, respectively) and 15 data in each year. First year data was used to calibrate and the second year was used to validate AquaCrop. The highest and lowest differences between observed and AquaCrop simulated yield were 3.15 (E1T2) and 0.3 (E1T3) ton.ha⁻¹, respectively, and the highest and lowest WUE were 0.53 (E3T2) and 0.03 (E4T2) kg.m⁻³, respectively. The highest and lowest differences between observed and Cropsyst were 2.34 (E3T3) and 0.35 (E1T2), ton.ha⁻¹, respectively. Corresponding results for WUE were 0.32 (E3T2) and (E1T1) kg.m⁻³, respectively. NRMSE results for Yield were 0.9 (AquaCrop) and 0.7 (CropSyst) for calibration periods and 0.5 (AquaCrop) and 0.9 (CropSyst) for validation periods. EF values for yield were 0.99 and 0.95 for AquaCrop and 0.90 and 0.79 for CropSyst in calibration and validation periods, respectively. Both models had good precision; however, AquaCrop had better efficiency for simulating yield. Based on results, it is recommended to use AquaCrop in low water stress (since it is water-driven model and simulates water response to water accurately) and apply Cropsyst in high water stress (since it is radiation-driven model). In addition, using Cropsyst in T2 is better than AquaCrop.

Key words: Crop Modeling, Radiation-driven Model, Water Stress, Water-driven Model.

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

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

3- Associate Professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding Author: a_eigder@ymail.com

