

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه دو مدل AquaCrop و SWAP در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندر قند تحت دورهای مختلف آبیاری

حسن سیاحی^۱، اصلان اگدرنژاد^{۲*}، نیازعلی ابراهیمی پاک^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۲

چکیده

مدل‌های گیاهی ابزارهای مناسبی برای شبیه‌سازی واکنش گیاهان نسبت به عوامل محیطی هستند. به منظور استفاده از مدل‌های گیاهی لازم است دقت و کارایی آن‌ها برای شرایط مورد نظر بررسی شود. به همین دلیل، تحقیق حاضر به منظور ارزیابی دقت و کارایی دو مدل گیاهی AquaCrop و SWAP تحت شرایط استفاده از دوره‌های مختلف آبیاری در زراعت چغندر قند انجام شد. مدیریت آبیاری در چهار دور (I:1، I:2، I:3، I:4 و I:5 روز) و در سه سال متوالی (Y1: سال اول؛ Y2: سال دوم و Y3: سال سوم) در یک مزرعه تحقیقاتی در فیض‌آباد قزوین مورد مطالعه قرار گرفت. سپس داده‌های سال اول برای واسنجی و داده‌های سال دوم و سوم به منظور صحت‌سنجی این دو مدل گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هر دو مدل AquaCrop و SWAP در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب دچار خطای کم‌برآوردی شدند. مدل AquaCrop ($RMSE=1/79$) تن بر هکتار دقت بهتری نسبت به SWAP ($RMSE=1/85$) تن بر هکتار) برای تعیین عملکرد داشت. براساس آماره NRMSE، دقت هر دو مدل AquaCrop و SWAP در تعیین عملکرد و بهره‌وری آب یکسان و در دسته عالی قرار داشت. کارایی این دو مدل ($d=0/99$ و $EF=0/99$) نیز یکسان و مطلوب بود. بنابراین استفاده از هر دو مدل برای شبیه‌سازی چغندر قند پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زراعت چغندر قند، قزوین، مدل‌سازی گیاهی، مدیریت آبیاری

مقدمه

(ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به قرارگیری کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک (Albaji et al., 2014; Ahmadede et al., 2016)، اعمال روش‌های کم‌آبیاری در زراعت این گیاه زراعی ضروری به نظر می‌رسد. این روش‌ها می‌بایست سبب تولید محصول قابل قبول با اعمال کمترین آب آبیاری باشد (شهیدی و احمدی، ۱۳۹۵). گرچه روش‌های ارائه شده برای کم‌آبیاری متنوع هستند لیکن تغییر دور آبیاری به صورت روشی رایج بین کشاورزان پذیرفته شده است.

برای تعیین بهترین دور آبیاری، لازم است آزمایش‌های متعددی در مناطق مختلف کشور انجام شود. این آزمایش‌ها سبب صرف هزینه بسیار و اتلاف وقت زیادی می‌شود. برای رفع این مشکلات، مدل‌های گیاهی مختلف جهت شبیه‌سازی واکنش گیاهان به شرایط مختلف مزرعه‌ای پیشنهاد شده است (گیرت و همکاران، ۲۰۰۹).

اولین مدل‌های گیاهی از دهه شصت میلادی ارائه شدند (شهیدی و احمدی، ۱۳۹۴) و در دهه‌های بعدی به سرعت رشد یافتند. مدل SWAP به عنوان یکی از مدل‌های گیاهی با دقت و توانایی بالا است

چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) از جمله محصولات کشاورزی بسیار مهم در کشور است که اهمیت بسیاری در تولید محصولات مختلف مانند قند و شکر، خوراک دام و ملاس دارد (پاکروان و مهرابی بشرآبادی، ۱۳۸۹؛ موسوی و همکاران، ۱۳۸۵). عملکرد این گیاه زراعی در شرایط مناسب در سطح جهان برابر با ۸۰ تن در هکتار تخمین زده شده است (FAO, 2019) که بیشتر از عملکرد آن در ایران (۶۲ تن) است (بی‌نام، ۱۳۹۸). کمبود آب آبیاری از جمله مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد این گیاه زراعی در ایران است

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
(Email: a_eigder@ymail.com) * - نویسنده مسئول:

همکاران اشاره کرد (Stricevic et al., 2011). این محققان دقت این مدل را برای شبیه‌سازی عملکرد این محصول قابل قبول دانستند و حتی با شبیه‌سازی واکنش این محصول به مقادیر بارش و عملکرد آن تحت سناریوی دیم نشان دادند که برای تولید این محصول می‌توان آبیاری را حذف کرد. در تحقیقات دیگر که توسط کونز و همکاران، علی‌شیری و همکاران و مالک و همکاران انجام شد، سناریوهای مختلف مصرف آب در زراعت چغندر قند بررسی شد (Kunz et al., 2014; Alishiri et al., 2014; Malik et al., 2017). این محققان گزارش کردند که دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند قابل قبول بود.

مرور منابع نشان داد که هر دو مدل AquaCrop و SWAP دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گیاهان زراعی داشتند. با این وجود استفاده از این دو مدل اشاره شده به منظور شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندر قند به صورت محدود و فقط برای یک سال زراعی توسط محققان انجام شده است. از طرف دیگر، تاکنون این دو مدل گیاهی برای شبیه‌سازی چغندر قند با هم مقایسه نشده‌اند. بدین منظور، هدف این تحقیق، مقایسه دو مدل SWAP و AquaCrop به منظور شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندر قند در سه سال متوالی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از داده‌های برداشت شده طی سه سال زراعی در ایستگاه تحقیقاتی فیض آباد قزوین انجام شد (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۸۷؛ ابراهیمی پاک، ۱۳۸۹). این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۶° ۸' شمالی و طول جغرافیایی ۵۰° ۵' شرقی و ارتفاع ۱۲۴۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در این طرح، خاک مزرعه آزمایشی از نظر فیزیکی و شیمیایی در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر برداشت و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. آماده‌سازی زمین در اوایل اردیبهشت ماه انجام شد. به منظور انجام این عملیات، ۱۲ کرت به ابعاد ۱۰ متر مربع (۲/۵×۴/۰) قطعه‌بندی شدند. سپس براساس آزمایش خاک، کودهای اوره (در سه مرحله همزمان با کاشت و دو مرحله سرک)، پتاسیم و فسفر براساس آزمایش خاک محاسبه شده و در داخل هر کرت همزمان با کاشت گیاه به خاک افزوده شد. در ادامه به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار بذر با تراکم ۹۵ هزار بوته در هکتار و در عمق ۵ تا ۸ سانتیمتر کشت گردید. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل مدیریت آبیاری در چهار دور (I1: ۶، I2: ۳، I3: ۹، I4: ۱۲ و I5: ۱۵ (روز) در سه سال زراعی (Y1: سال اول؛ Y2: سال دوم و Y3: سال سوم) بود (ابراهیمی پاک و غالبی، ۱۳۹۳؛ ابراهیمی پاک و تافته، ۱۳۹۶).

که ابتدای دهه ۹۰ میلادی توسط دانشگاه واگنینگن هلند ارائه شد (Van Dam et al., 1997). این مدل توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات تحقیقات جنوبی و همکاران اشاره کرد (Jonubi et al., 2018). این محققان از مدل SWAP برای شبیه‌سازی برنج در شمال کشور تحت سناریوهای مختلف آبیاری استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار RMSE برای عملکرد برنج برابر با ۴/۹۴ درصد بود. در تحقیقی دیگر، یوگ و همکاران از مدل SWAP برای شبیه‌سازی زهکشی مزارع برنج استفاده کردند (Yuge et al., 2016). این محققان نشان دادند که مدل SWAP دقت قابل قبولی برای شبیه‌سازی گیاه زراعی برنج داشت. در تحقیقی دیگر که توسط ما و همکاران بر روی گیاه زراعی گندم زمستانه انجام شد؛ عملکرد این گیاه زراعی توسط مدل SWAP شبیه‌سازی شد (Ma et al., 2011). این محققان نشان دادند که مقادیر RMSE و MRE برای عملکرد گندم به ترتیب برابر با ۲/۴ و ۸ درصد بود. براساس این نتایج، دقت مدل SWAP برای شبیه‌سازی گندم قابل قبول ارزیابی شد. از جمله تحقیقات دیگری که با استفاده از مدل SWAP برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی انجام شد می‌توان به مطالعات بنفانت و همکاران، بنفانت و بوما و امیری اشاره کرد (Bonefant et al., 2010; Bonefant and Bouma, 2015; Amiri, 2016). این محققان از مدل SWAP برای شبیه‌سازی گیاه زراعی ذرت استفاده کردند و نشان دادند که دقت و کارایی این مدل بسیار مطلوب بود. بادیه‌نشین و همکاران (۱۳۹۳) و نوری و همکاران (۱۳۹۸) با تکیه بر دقت این مدل گیاهی، از آن برای تعیین تبخیر تفرق گیاه چغندر قند استفاده کردند. خانی‌قریه‌گیسی و همکاران (۱۳۹۳) از مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند استفاده کردند و دقت این مدل را مطلوب ارزیابی کردند.

در سال ۲۰۰۹، یک مدل گیاهی جدید با نام AquaCrop توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) به محققان ارائه شد. این مدل گیاهی به دلیل دارا بودن قابلیت‌هایی مانند نیاز به داده‌های کم، کاربرپسند بودن و دقت بالا به سرعت مورد توجه محققان قرار گرفت (Raes et al., 2012). این مدل تاکنون در تحقیقات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی زعفران (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۷)، ذرت (Heng et al., 2009; Hsiao et al., 2009)، آفتابگردان (Todorovic et al., 2009)، کلزا (اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷) و کینوا (Geert et al., 2009) اشاره کرد. نتایج کلیه این تحقیقات نشان داده است که کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی مورد اشاره قابل قبول بوده است. تحقیقات محدودی نیز با استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی چغندر قند انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به گزارش استریسویچ و

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

عمق	پتاسیم	فسفر	ازت کل	کربن آلی	درصد اشباع	EC	pH	رطوبت در ظرفیت زراعی	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم	جرم مخصوص ظاهری	بافت خاک
سانتی‌متر	پی‌پی‌ام	درصد	درصد	-	درصد	دسی‌زیمنس بر متر	cm ³ .cm ⁻³	سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب	گرم بر سانتی‌متر مکعب		
۰-۳۰	۳۸۴	۸/۱۵	۷۰	۰/۵۵	۴۵	۰/۳۵	۸/۰۷	۰/۲۲	۰/۱۲	۱/۳۴	لومی‌شنی
۳۰-۶۰	۲۹۳	۷/۷	۷۲	۰/۴۸	۵۲	۰/۳۲	۸/۰۷	۰/۲۴	۰/۱۳	۱/۷۸	لومی‌شنی

هر گروه از داده‌ها براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا داده‌های موجود به مدل معرفی شدند.

مدل AquaCrop

به منظور شبیه‌سازی اثر دور آبیاری و کود مصرفی از مدل AquaCrop استفاده شد. این مدل از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه شده (رابطه ۱) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند. تفکیک این مولفه به دو جز تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می‌شود تا مصرف غیر تولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۲).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (1)$$

$$Tr = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (2)$$

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_c و K_s به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (3)$$

در این رابطه، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. با تعیین تعرق و تبخیر-تعرق، بیوماس خشک نیز طبق رابطه (۴) برآورد می‌گردد:

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (4)$$

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 ماده‌ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

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

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.

مدل SWAP

در مدل SWAP، شبیه‌سازی رشد و تولید محصول به کمک فاکتورهای زراعی اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه انجام می‌شود. بدین منظور، با استفاده از رابطه (۷)، میزان تولید محصول تعیین می‌شود.

$$1 - \frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} = K_{y,k} \left(1 - \frac{T_{a,k}}{T_{p,k}} \right) \quad (7)$$

که در این رابطه، $K_{y,k}$ ضریب واکنش گیاه به مرحله‌ی رشد K ، $T_{a,k}$ و $T_{p,k}$ تعرق واقعی و پتانسیل در طول دوره‌ی رشد K (سانتی‌متر)، $Y_{a,k}$ و $Y_{p,k}$ محصول واقعی و پتانسیل در طول دوره‌ی رشد k (کیلوگرم بر هکتار) است. محصول نسبی در کل فصل رشد با استفاده از محصول نسبی در هر مرحله از رشد، از رابطه‌ی (۸) محاسبه می‌شود.

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{k=1}^n \left(\frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} \right) \quad (8)$$

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

واسنجی و صحت‌سنجی

پیش از انجام واسنجی دو مدل گیاهی مورد استفاده، ابتدا این دو مدل با استفاده از رابطه (۹) مورد تحلیل حساسیت قرار گرفتند

(Geerts et al., 2009):

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (9)$$

در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده عامل مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد عامل مورد نظر براساس داده ورودی پایه می باشد. به منظور تحلیل حساسیت هر عامل بر مقدار خروجی، آن عامل به میزان ۲۵ درصد مقدارش افزایش و کاهش یافت. سپس مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $Sc > 15$ حساسیت بالا، $2 < Sc < 15$ حساسیت متوسط، $Sc < 2$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts et al., 2009).

به منظور واسنجی این دو مدل گیاهی، داده‌های سال اول مورد استفاده قرار گرفت. پس از واسنجی، هر دو مدل گیاهی با استفاده از داده‌های سال دوم و سوم مورد صحت‌سنجی قرار گرفتند. بدین منظور از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای 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 روابط (۱۰) تا (۱۵) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (10)$$

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

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

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

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (14)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (15)$$

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. 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، ۰/۱-۰/۳ و ۰/۳-۰/۲

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 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 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

تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل‌های AquaCrop و SWAP پیش از واسنجی انجام شد و برخی نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان داد که این دو مدل نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشت. تغییرات برخی پارامترها مانند ضریب گیاهی برای تعرق بر خروجی مدل AquaCrop و دمای حداکثر بر خروجی مدل SWAP حساسیت چندانی نداشت. به همین دلیل در مرحله واسنجی، مقدار این پارامترها برابر با پیش‌فرض در نظر گرفته شد. پارامترهایی که دارای حساسیت متوسط بودند تحت واسنجی قرار گرفتند. نتایج این مرحله در جدول ۳ نشان داده شده است.

بیشترین و کمترین عملکرد مشاهداتی چغندر قند به ترتیب برابر با ۶۶/۴ و ۳۷/۶ تن در هکتار بود (شکل ۱). این مقادیر به ترتیب در تیمارهای Y2I1 و Y2I4 مشاهده شد. متوسط عملکرد چغندر قند نیز برابر با ۵۱ تن در هکتار بود. بیشترین و کمترین مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد توسط مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۶۷/۱ (Y2I1) و ۳۷/۹ (Y2I4) تن در هکتار بود. متوسط عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop برابر با ۵۱/۶ تن در هکتار به دست آمد. بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۳/۲ و ۰/۳۸ تن در هکتار به دست آمد.

نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده چغندر قند با استفاده از مدل SWAP در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد توسط مدل SWAP به ترتیب برابر با ۶۵/۱ (Y2I1) و ۳۶/۱ (Y2I4) تن در هکتار تعیین شد. متوسط عملکرد شبیه‌سازی شده توسط این مدل برابر با ۵۱/۵ تن در هکتار به دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل SWAP و مشاهداتی به ترتیب برابر با ۲/۶۱ و ۰/۳۸ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای Y2I2 و Y2I3 مشاهده شد. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل SWAP و مشاهداتی نیز برابر با ۱/۷ تن در هکتار بود.

جدول ۲- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop و SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند

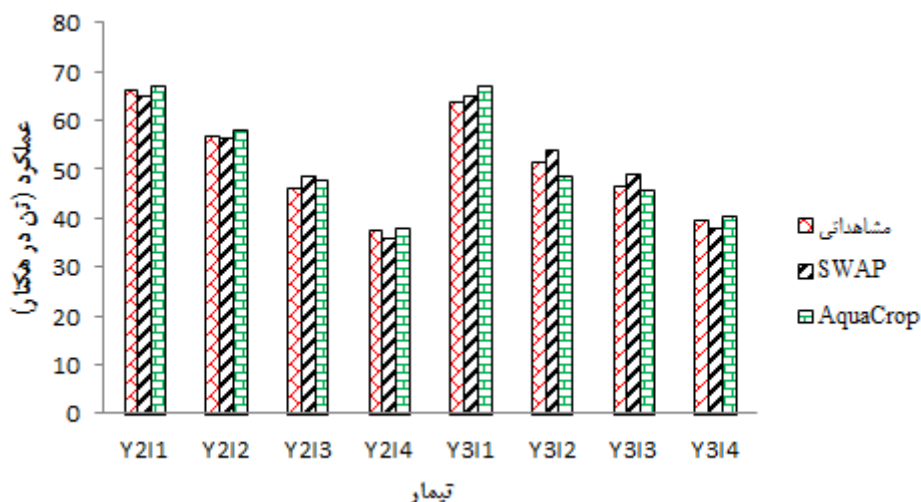
عامل	مقدار Sc در حالت +۲۵٪	مقدار Sc در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت
مدل AquaCrop			
ضریب گیاهی برای تعرق	۱/۴	۱/۱	کم
عمق مؤثر ریشه	۷/۷	۲/۵	متوسط
مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی	۲/۱	۴/۶	متوسط
مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی	۴/۷	۳/۹	متوسط
مدت زمان کاشت تا برداشت محصول	۶/۸	۱/۴	متوسط
مدت زمان کاشت تا دوره پیری	۳/۳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

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

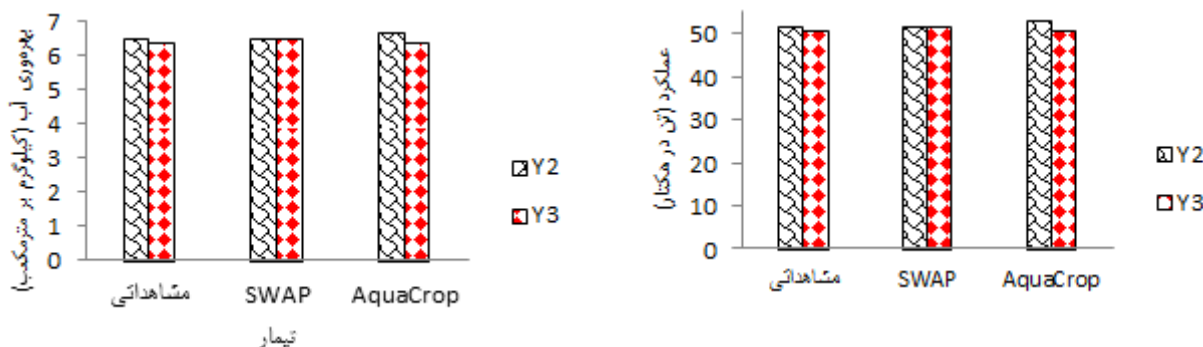
توضیح عامل	مقدار واسنجی شده	مقدار پیش فرض	واحد
مدل AquaCrop			
بهره‌وری آب نرمال شده	۱۶/۵	۱۷/۰	گرم بر متر مربع
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/۲۰	۰/۲۰	-
حد پایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه	۰/۶۵	۰/۶۰	-
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها	۰/۵۰	۰/۶۵	-
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری	۰/۷۰	۰/۷۵	-
پوشش گیاهی اولیه	۰/۱۰	۰/۱۰	درصد
بیشینه رشد کانوپی	۹۸	۹۸	درصد
مدل SWAP			
ضریب نابودی نور پخش شده	۰/۷	۰/۶۹	-
ضریب نابودی نور مستقیم	۰/۷	۰/۷۵	-
بارفشاری برای شروع جذب آب توسط ریشه	-۲۰	-۱۰	سانتی‌متر
بارفشاری برای شروع بهینه جذب آب توسط ریشه	-۲۵	-۲۵	سانتی‌متر
کارایی مصرف نور	۰/۴۰	۰/۴۵	کیلوگرم دی اکسید کربن بر ژول

در شکل ۲، متوسط مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هر دو مدل SWAP و AquaCrop به تفکیک سال و دور آبیاری نشان داده شده است. اختلاف عملکرد مشاهداتی بین سال دوم و سوم برابر با ۱/۳ تن در هکتار بود. این اختلاف در مدل SWAP و AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۲/۲ تن در هکتار مشاهده شد. چون فقط عوامل اقلیمی در دو سال آزمایش متغیر بود، در نتیجه مدل SWAP نسبت به این عوامل غیرحساس و مدل AquaCrop حساس بود. این نتایج با توجه به جدول (۱) نیز تأیید می‌شود. متوسط

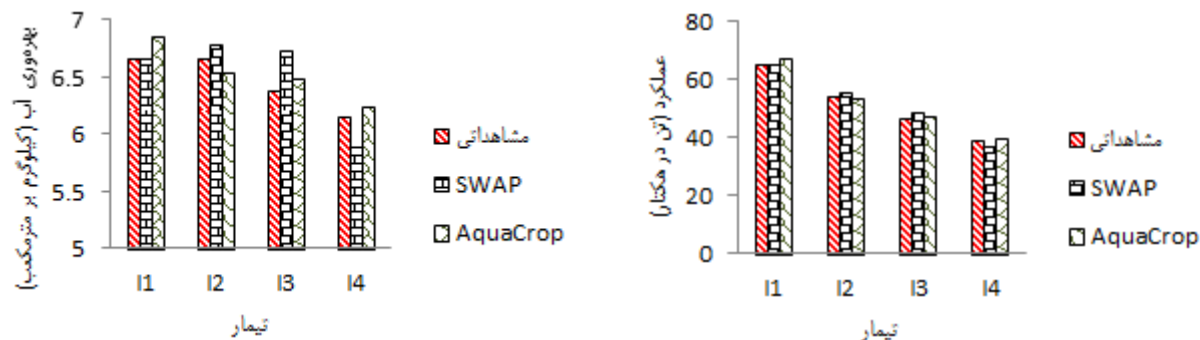
عملکرد مشاهداتی برای دوره‌های آبیاری I1، I2، I3 و I4 به ترتیب برابر با ۶۵/۱، ۵۴/۲، ۴۶/۲ و ۳۸/۶ تن در هکتار بود (شکل ۳). با افزایش دور آبیاری مقدار عملکرد کاهش یافت. عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل‌های SWAP و AquaCrop نیز از همین روند پیروی کرد. بیشترین اختلاف عملکرد بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop در تیمار II (۱/۹ تن در هکتار) تعیین شد و مقداری قابل قبول بود. کمترین اختلاف عملکرد در تیمار I3 (۰/۶ تن در هکتار) مشاهده شد.



شکل ۱- نتایج عملکرد مشاهداتی چغندر نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل‌های SWAP و AquaCrop تیمارهای دور آبیاری شامل I1: ۶I2: 3.۹I3: ۱۲ و I4: ۱۵ روز و تیمار زمان شامل Y2: سال دوم و Y3: سال سوم است.



شکل ۲- متوسط عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های SWAP و AquaCrop در سال‌های دوم (Y1) و سوم (Y3)

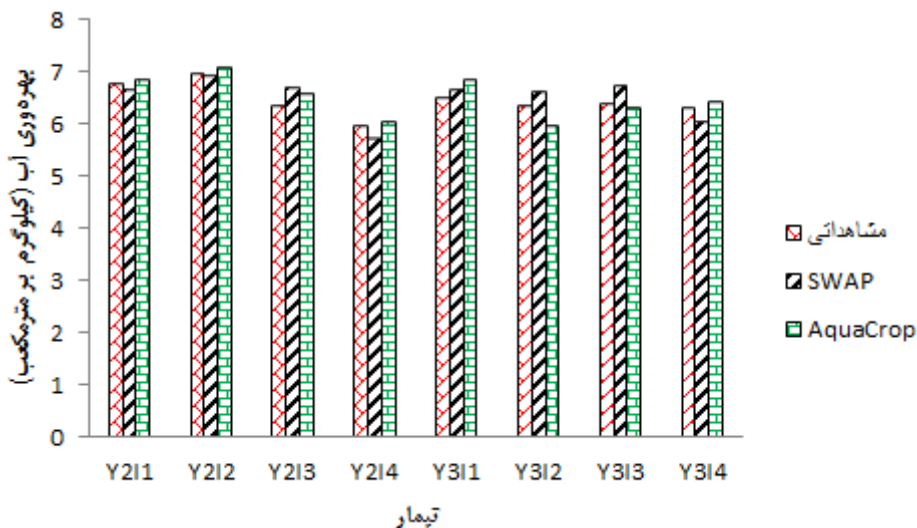


شکل ۳- متوسط عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های SWAP و AquaCrop برای دوره‌های آبیاری I1: ۶، I2: 3.۹، I3: ۱۲ و I4: ۱۵ روز

مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با این مدل وجود نداشت. بنابراین حتی در شرایط دور آبیاری بالا (I4)، مدل AquaCrop دقت مطلوبی داشت. اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل SWAP برای تیمارهای I1، I2، I3 و I4 به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۱، ۰/۱ و ۲/۵ تن در هکتار بود. مقایسه این نتایج با مدل AquaCrop

گرچه برخی محققان از جمله ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۷)، آگذرنژاد و همکاران (۱۳۹۷)، وطن‌خواه و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی و همکاران (۱۳۹۴)، علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که با افزایش تنش آبی، مدل AquaCrop نتایج ضعیفی ارائه می‌کند؛ لیکن نتایج این پژوهش نشان داد که روند منظمی بین اختلاف عملکرد

شبه‌سازی شده برای این مدل در تیمارهای I1, I2, I3 و I4 به ترتیب برابر با ۰/۱۳، ۰/۱۷، ۰/۳۵ و ۰/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۳). نتایج بهره‌وری آب در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبه‌سازی شده با مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۰/۰۵ کیلوگرم بر متر مکعب بود. متوسط اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبه‌سازی شده نیز برابر با ۰/۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد. متوسط اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبه‌سازی شده بهره‌وری آب در این مدل برای تیمارهای آبیاری I1, I2, I3 و I4 به ترتیب برابر با ۰/۱۵، ۰/۳۵، ۰/۱۴ و ۰/۲۶ کیلوگرم بر متر مکعب بود (شکل ۳). این مقادیر برای تیمارهای Y1 و Y2 به ترتیب برابر با ۰/۱۳ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۲).



شکل ۴- نتایج بهره‌وری آب مشاهداتی چغندر نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop و SWAP تیمارهای دور آبیاری شامل I1: I2، I3: I4 و I4: I5 روز و تیمار زمان شامل Y2: سال دوم و Y3: سال سوم است.

بالاتر از مقادیر به دست آمده بود. با این وجود، دقت این مدل براساس آماره NRMSE عالی بود. مقادیر منفی آماره MBE نشان داد که این مدل دچار خطای کم‌برآوردی شد. نتایج بسیاری از محققان نیز نشان داده است که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصولات مختلف دچار خطای کم‌برآوردی شد (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۷؛ اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷). کارایی مدل AquaCrop نیز براساس دو آماره EF و d مطلوب بود. استریسویچ و همکاران و مالک و همکاران نیز مقدار ۰/۹ را برای آماره d گزارش کردند که با نتایج تحقیق حاضر هم خوانی داشت (Stricevic et al., 2011; Malik et al., 2017). مقادیر آماره‌های MBE و RMSE برای مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد به ترتیب برابر با ۰/۴۷- و ۱/۸۵ تن در هکتار بود. مقدار آماره NRMSE برای این مدل برابر با

نشان داد که حداقل و حداکثر خطا در این مدل فاصله زیادی داشت. بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل SWAP به ترتیب برابر با ۰/۴ و ۰/۰۴ کیلوگرم بر متر مکعب بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای Y2I3 و Y2I2 مشاهده شد (شکل ۴). متوسط اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبه‌سازی شده با مدل SWAP نیز برابر با ۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در سال اول برابر با ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال دوم برابر با ۰/۱۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود (شکل ۲). این نتایج از مقادیر خطای اعلام شده توسط محققان دیگر از جمله بنفانت و بوما، امیری و همکاران و جنوبی و همکاران کمتر بود (Bonefante and Bouma, 2010; Amiri, 2016; Jonubi et al. 2018). اختلاف مقادیر مشاهداتی و

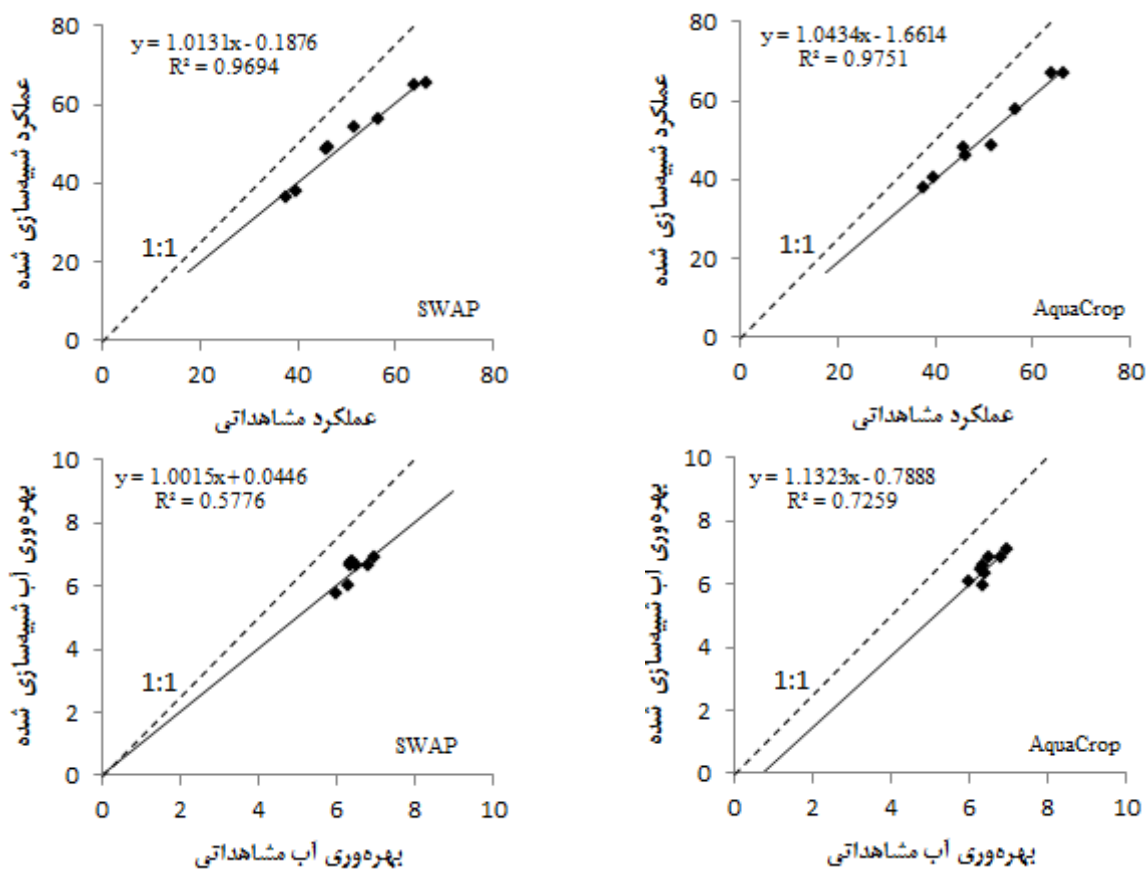
مقایسه آماری نتایج عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با دو مدل AquaCrop و SWAP در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس آماره RMSE، مقدار خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند برابر با ۱/۷۹ تن در هکتار بود. مالک و همکاران (Malik et al., 2017) مقدار خطای این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد چغندر را در دامنه ۱/۱۷-۰/۰۷ تن در هکتار گزارش کردند. استریسویچ و همکاران مقدار ۰/۲ تن در هکتار را برای آماره RMSE گزارش کردند (Stricevic et al., 2011). علی‌شیری و همکاران نیز دامنه ۰/۶۴-۰/۱۵ تن در هکتار را برای شبیه‌سازی عملکرد چغندر قند توسط مدل AquaCrop بیان کردند (Alishiri et al., 2014). با مقایسه نتایج این تحقیق با مقادیر گزارش شده توسط محققان، مشاهده می‌شود که خطای این تحقیق

مدل از AquaCrop اندکی بهتر بود. این نتایج از مقادیر گزارش شده توسط خانی قریه‌گپی و همکاران (۱۳۸۶) بهتر بود. آماره‌های EF و d نیز نشان داد که کارایی این مدل مطلوب بود.

۰/۳ بود و در گروه عالی قرار داشت. مدل SWAP برای تعیین عملکرد چغندر قند دچار خطای بیش‌برآوردی شد. براساس نتایج آماری MBE و NRMSE برای مدل SWAP، مشاهده شد که دقت این

جدول ۴- مقایسه آماری نتایج عملکرد و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با دو مدل AquaCrop و SWAP

پارامتر	مدل	MBE	RMSE	NRMSE	EF	d
عملکرد	SWAP	-۰/۴۷	۱/۸۵	-۰/۰۳	۰/۹۹	-۰/۹۹
(تن بر هکتار)	AquaCrop	-۰/۵۵	۱/۷۹	-۰/۰۴	۰/۹۹	-۰/۹۹
بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	SWAP	-۰/۰۵	۰/۲۵	-۰/۰۳	۰/۹۹	-۰/۹۹
	AquaCrop	-۰/۰۶	۰/۲۱	-۰/۰۳	۰/۹۹	-۰/۹۹



شکل ۵- نتایج همبستگی عملکرد (تن بر هکتار) و بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با دو مدل AquaCrop و SWAP

که با مطالعات خانی قریه‌گپی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت داشت. مقادیر آماره R^2 برای پارامتر بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AquaCrop و SWAP به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۵۷ بود. براساس این نتایج، مدل AquaCrop توانایی بیشتری نسبت به مدل SWAP برای پیروی از تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب داشت.

براساس آماره MBE، RMSE و NRMSE برای پارامتر بهره‌وری آب، مشاهده شد که هر دو مدل دقت یکسانی داشتند. براساس این آماره‌ها، هر دو مدل دچار خطای بیش‌برآوردی شدند. خطای شبیه‌سازی برای پارامتر بهره‌وری آب توسط هر دو مدل قابل قبول بود. کارایی هر دو مدل مورد مطالعه مطلوب بود. آماره R^2 برای عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop برابر با ۰/۹۷ بود. این آماره برای عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل SWAP برابر با ۰/۷۲ بود

نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور ارزیابی دقت دو مدل AquaCrop و SWAP در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندر قند انجام شد. نتایج نشان داد که مدل SWAP نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی در دو سال متوالی حساسیت کمترین نسبت به مدل AquaCrop داشت. با افزایش دور آبیاری، عملکرد مشاهداتی کاهش یافت. هر دو مدل مورد استفاده نیز این روند را نشان دادند ولی روند یکسانی بین اختلاف عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در هیچ‌کدام از این دو نرم‌افزار مشاهده نشد. هر دو مدل دچار خطای کم‌برآوردی برای تعیین عملکرد و بهره‌وری آب داشتند. دقت و کارایی هر دو مدل تقریباً یکسان و مطلوب بود. براساس نتایج این پژوهش، استفاده از هر دو مدل SWAP و AquaCrop برای شبیه‌سازی چغندر قند پیشنهاد می‌شود.

منابع

- ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۳۸۹. تعیین واکنش عملکرد چغندر قند (ky) به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد. چغندر قند. ۲۶(۱): ۶۷-۷۹.
- ابراهیمی پاک، ن.، پذیرا، ا.، کاوه، ف.، عابدی، م. ج. و صباغ‌فرشی، م. ج. ۱۳۸۷. تأثیر کم‌آبیاری طی مراحل مختلف رشد چغندر قند بر عملکرد کمی و کیفی آن. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۷۸: ۶۳-۷۳.
- ابراهیمی پاک، ن. ع.، احمدی، م.، اگدرنژاد، ا. و خاشعی‌سیوکی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف زئولیت. حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۱): ۱۳۲-۱۱۷.
- ابراهیمی پاک، ن. ع.، و تافته، آ. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید محصول-آب مصرفی چغندر قند در قزوین. چغندر قند. ۳۳(۱): ۶۳-۴۷.
- ابراهیمی پاک، ن. ع.، و غالبی، س. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی (kc) چغندر قند با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با روش‌های تجربی در شهرکرد. چغندر قند. ۳۰(۱): ۵۸-۴۱.
- اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی پاک، ن. ع.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مدیریت آب در کشاورزی. ۵(۲): ۶۴-۵۳.
- بادیه‌نشین، ع.، نوری، ح. و وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۳. بهبود برآورد عملکرد محصول در مدل شبیه‌سازی SWAP با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۵(۴): ۳۸۸-۳۷۹.
- بی‌نام، ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی. ۹۵ صفحه.
- پاکروان، م. و مهربانی‌بشرآبادی، ح. ۱۳۸۹. تعیین ارزش اقتصادی و تابع تقاضای آب در تولید چغندر قند استان کرمان. پژوهش آب ایران. ۴(۶): ۹۰-۸۳.
- خانی‌قریه‌گیی، م.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، هاشمی‌نیا، س. م. و ذوالفقاران، ا. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در برآورد عملکرد چغندر قند تحت کمیت‌ها و کیفیت‌های مختلف آبیاری. آبیاری و زهکشی. ۱(۲): ۱۱۷-۱۰۷.
- شهیدی، ع. و احمدی، م. ۱۳۹۴. آموزش تصویری مدل SWAP. انتشارات کلک زرین. ۱۶۰ صفحه.
- شهیدی، ع. و احمدی، م. ۱۳۹۵. توابع تولید گیاهی در مناطق خشک. انتشارات دانشگاه بیرجند. ۱۲۶ صفحه.
- علیزاده ح.، نظری ب.، پارسی‌نژاد م.، رضانی‌اعتدالی ه. و جانباز، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرج. آبیاری و زهکشی ایران. ۴: ۲۸۳-۲۷۳.
- محمدی، م.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، انصاری، ح. و حق‌وردی، ا. ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.
- موسوی، س. ن. ا.، قرقانی، ف.، طاهری، ف. و محمدی، ح. ۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر بر عرضه چغندر قند در استان فارس. چغندر قند. ۲۴(۱): ۱۱۹-۱۰۷.
- نوری، ح.، مختاری، ع. و بادیه‌نشین، ع. ۱۳۹۸. تعیین نیاز آبی محصولات ذرت علوفه‌ای و چغندر قند با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی دشت قزوین). حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۴): ۱-۲۰.
- وطن‌خواه، ا. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت علوفه‌ای در طول جویچه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷(۳): ۵۰۴-۴۹۵.
- Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., and Hashemi, S.R., 2014. The effect of magnetic water and calcific and potasic zeolite on the yield of *Lepidium Sativum* L, International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(6): 2051-2060.
- Albaji, M., Golabi, M., Hooshmand, A.R., and Ahmadee, M. 2016. Investigation of surface, sprinkler and drip irrigation methods using GIS, Jordan Journal of Agricultural Science, 12(1): 211-222.

- 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., Feng, Sh., Huo, Z., and Song, X. 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., Shakir, A. S., Ajmal, M., Jamal Khan, M., and Ali Kan., T. 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.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Freres, E. 2012. Reference manual AquaCrop, FAO, land and water division, Rome Italy.
- Stricevic, R., Cosic, M., Djurovic, N., Pejic, B. and Maksimovic, L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management*. 98: 1615-1621.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abisaab M and Stwckle, C. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy*. 101: 509-521.
- 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.
- Alishiri, R., Paknejad, F. and Aghayari, F. 2014. Simulation of sugar beet growth under different water regimes and nitrogen levels by AquaCrop. *Bioscience*. 4(4): 1-9.
- 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., Basile, A., Acutis, M., Mascellis, R. De., Manna, P., Perego, A., and Terribile, F. 2010. SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in northern Italy. *Agricultural Water Management*. 97(7): 1051-1062.
- FAO. 2019. FAO reports. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sugarbeet/en>.
- Bonefante, A., and Bouma, J. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Katerji, N., Campi, P., and Mastrorilli, M. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use

Comparison of AquaCrop and SWAP for Simulation of Sugar Beet Yield and Water Use Efficiency under Different Irrigation Intervals

H. Sayyahi¹, A. Egdernezhad^{2*}, N.A. Ebrahimipak³

Received: Apr.20, 2020

Accepted: Jun.01, 2020

Abstract

Crop Models are useful tools for simulation of crops to environmental factors. In order to use crop model, it is necessary to evaluate their accuracies and efficiencies. So, the study was conducted to evaluate the accuracy and efficiency of AquaCrop and SWAP models for simulation of sugar beet under different irrigation intervals. Irrigation in four intervals (I1: 6, I2: 9, I3: 12 and I4: 15 days) during three continues year (Y1: first years, Y2: second year and Y3: third year) at Feiz Abad research station in Qazvin were studied. First year data was used for calibration and second and third year data were used for validation of both models. Results showed that both AquaCrop and SWAP had underestimate error for simulation of yield and water productivity. AquaCrop model (RMSE=1.79 ton.ha⁻¹) had better accuracy compared to SWAP (RMSE=1.85 ton.ha⁻¹) for simulation of yield. According to NRMSE, accuracy of both models was the same and classified in very good group. Efficiencies of both models (EF=0.99 and d=0.99) were acceptable. Regarding the results, it is proposed to use both models for simulation of sugar beet yield and water use efficiency.

Keywords: Crop modeling, Irrigation management, Qazvin, Sugar beet cultivation

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 Email: a_eigder@ymail.com)