

برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه با استفاده از مدل AquaCrop

Potato irrigation planning based on moisture depletion using AquaCrop

محمد علی انصاری^۱، اصلان اگدرنژاد^{۲*} و نیازعلی ابراهیمی پاک^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۵

چکیده

به منظور برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبتی، از مدل واسنجی شده‌ی AquaCrop استفاده شد. این مدل با استفاده از داده‌های برداشت‌شده از دو فصل زراعی یک مزرعه تحقیقاتی در چهارتخته شهرکرد واسنجی شد. سپس مدل AquaCrop تحت اجرای متوالی قرار گرفت به طوری که سناریوهای مختلف تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه و آبیاری مجدد آن (DyIx) که y میزان تخلیه و x میزان آبیاری بر حسب میلی‌متر است) بررسی شد. نتایج نشان داد که تخلیه رطوبت تا ۴۰ میلی‌متر و آبیاری مجدد آن هیچ‌گونه تنشی به گیاه وارد نکرد. تخلیه رطوبت بیشتر از ۸۰ میلی‌متر سبب افت شدید رطوبت گردید به طوری که عملکرد و زیست‌توده به مقداری نزدیک به صفر کاهش یافت. به منظور کم‌آبیاری، تخلیه رطوبت بین ۴۰ تا ۷۰ میلی‌متر مناسب بود. نتایج اعمال کم‌آبیاری در سناریوهای مختلف نشان داد که بیشترین عملکرد در سناریوی D40I40 (۲۲/۶ تن بر هکتار) و کمترین عملکرد در سناریوی D70I20 (۱۰/۸ تن بر هکتار) به دست آمد. در حالت کمبود آب، سناریوهای D60I40، D60I30 و D65I30 به عنوان بهترین سناریوها مشخص شدند به طوری که مقدار عملکرد در این سناریوها به ترتیب ۱۶/۸، ۲۲/۲ و ۲۷ درصد کمتر از D40I40 بود. مقدار زیست‌توده این تیمارها نیز به ترتیب ۱۶/۶، ۲۱/۸ و ۲۶/۷ درصد کمتر از D40I40 بود. این سناریوها کارایی مصرف را به ترتیب ۰/۷ درصد (افزایش)، ۰/۷ درصد (کاهش) و ۱/۹ درصد (کاهش) تغییر دادند؛ بنابراین D40I40 بهترین سناریو در شرایط آبیاری کامل و D60I40 مناسب‌ترین سناریو در شرایط کم‌آبیاری بود.

کلمات کلیدی: زیست‌توده، سناریوهای کم‌آبیاری، کارایی مصرف آب، مدل‌های گیاهی.

www.iapb.ir

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

*- مسئول مکاتبه E-mail: a_eigder@ymail.com

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به‌عنوان یکی از منابع غذایی مهم در سراسر دنیا شناخته می‌شود (بهراملو و ناصری، ۱۳۸۹) و در رتبه‌بندی محصولات مهم غذایی در جهان توسط فائو در رتبه پنجم معرفی شده است (FAOSTAT, 2013). این گیاه که در ایران نیز به‌طور عمده کشت می‌شود (بهراملو و ناصری، ۱۳۸۹)، برای رشد کافی نیاز به آبیاری کافی و مکرر دارد (Yuan *et al.*, 2006; Kiziloglu *et al.*, 2003; *et al.*) و کلیه دوره‌های رشد این گیاه به آب کافی حساس است (Hassan *et al.*, 2002; Shock, 2004; Shock and Feibert, 2002). گرچه برخی مطالعات نشان داده است که این گیاه در برخی شرایط به تنش آبی چندان حساس نیست (Thornton, 2002; Shock, 2004) لیکن اعمال تنش در شرایط مذکور نیز می‌تواند سبب کاهش اجزای رشد از جمله تعداد ساقه‌ها شود (Zerust, 1995).

تنش آبی در اکثر مناطق مورد کشت این محصول در کشور به دلایل مختلف اعمال می‌شود که این عامل سبب کاهش وزن غده‌ها و در نتیجه عدم رغبت مشتریان به خرید این محصول می‌گردد (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که اوایل دوره حجیم شدن غده‌ها جز حساس‌ترین مراحل رشدی سیب‌زمینی به کم‌آبیاری می‌باشد به‌طوری‌که کاهش مقدار آب آبیاری در این دوره باعث کاهش بیشتر عملکرد نسبت به سایر دوره‌ها می‌گردد (Lynch and Tai, 1989; Dalla Costa *et al.*, 1997). برخی محققان عقیده دارند که اعمال تنش آبی پیش از تشکیل غده‌ها، بر وزن آن‌ها اثر دارد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۰) و اجرای کم‌آبیاری پس از تشکیل غده‌ها سبب کاهش تعداد آن‌ها نیز می‌گردد (King *et al.*, 2003; Yuan *et al.*, 2003).

با وجود حساس بودن این گیاه به کمبود رطوبت، مقادیر بالای آن نیز با اثرگذاری بر مقدار اکسیژن ناحیه ریشه، شسته شدن عناصر غذایی از محیط ریشه، زرد شدن و ریزش برگ‌های مسن‌تر سبب کاهش عملکرد می‌گردد (Marutani and Cruz, 1989). با توجه به این موارد، به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب، بهتر است تنش آبی به این گیاه اعمال شود (Hassan *et al.*, 2002; Nagaz *et al.*, 2007). این موضوع بنا بر لزوم توجه به کاهش

مصرف آب در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر بیشتر اهمیت یافته است (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۳؛ ضیایی و همکاران، ۱۳۹۳).

بنابراین نیاز است تا به برنامه‌ریزی آبیاری این گیاه توجه بیشتری شود تا علاوه بر دستیابی به عملکرد قابل قبول، کارایی مصرف آب نیز افزایش یابد. مطالعات اشاره شده در سابقه تحقیق با استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام شده است و نتایج آن‌ها نیز بیانگر واکنش متفاوت این گیاه به شرایط مختلف کشت در مناطق مختلف است. به‌منظور رفع این مشکل، محققان مدل‌های گیاهی مختلفی را ارائه کرده‌اند که ضمن کاهش وقت و هزینه در آزمایش‌های مزرعه‌ای، بتوان سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی آبیاری را برای گیاهان مختلف بررسی کرد (Boogaard *et al.*, 1988; Van Dam *et al.*, 1997; Geerts and Raes, 2009; Raes *et al.*, 2009). از جمله این مدل‌های گیاهی می‌توان به AquaCrop اشاره کرد. این مدل توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو) توسعه یافته است و به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کمتر، کاربردی بودن و دقت قابل نسبت به سایر مدل‌های رشد گیاهی برتری دارد (Heng *et al.*, 2009).

استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی گیاهان مختلف در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعات انجام شده در خصوص عملکرد گیاهان جو (Araya *et al.*, 2010)، ذرت و چغندر (Stricevic *et al.*, 2011)، ذرت (Heng *et al.*, 2009; Hisao *et al.*, 2009) و آفتابگردان (حیدری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره کرد. مطالعات اندکی با استفاده از این مدل گیاهی روی سیب‌زمینی انجام شده است که عمدتاً تنها به بررسی عملکرد این محصول پرداخته شده است. گارسیا ویلا و فرس با استفاده از این مدل به مدیریت آبیاری در مزارع جنوب اسپانیا پرداختند و برخی سناریوهای حاکم بر این مزارع از جمله کاهش سطوح کشت و یا افزایش قیمت محصول را با تغییر سطوح آبیاری بررسی کردند (Garcia-Vila and Fereres, 2012). در تحقیقی که توسط افشار و نشات با استفاده از مدل AquaCrop به بررسی اثر سه سطح آبیاری بر گیاه سیب‌زمینی انجام شده است مشخص گردیده که این مدل کارایی قابل قبولی در

برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه با استفاده از مدل AquaCrop

مورد استفاده از رقم آگریا و به میزان ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. کاشت گیاهان در اول خرداد و برداشت در ۲۶ مهرماه انجام شد. نیاز آبی هر کرت بر اساس سناریو مورد نظر و با استفاده از داده‌های برداشت شده از لایسی‌متر زهکش‌دار در مجاورت کرت‌های مورد آزمایش اندازه‌گیری و اعمال می‌شد (رابطه ۱).

$$ET_c = I + R - D \pm (Sw_2 - Sw_1) \quad (1)$$

که در این رابطه، ET_c تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (میلی‌متر)، I میزان آب آبیاری مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی (میلی‌متر)، R میزان بارندگی (میلی‌متر)، D عمق آب زهکش شده (میلی‌متر)، Sw_2 رطوبت لایه خاک در ابتدای دوره اندازه‌گیری (میلی‌متر) و Sw_1 رطوبت لایه خاک در انتهای دوره اندازه‌گیری (میلی‌متر) بود. به‌منظور آبیاری از لوله‌ای که در مزرعه تعبیه شده بود استفاده شد. آب با استفاده از این لوله به کرت‌ها منتقل شده و به‌صورت ثقلی در سطح هر کرت توزیع می‌شد. در انتهای لوله انتقال کنتور با دقت یک‌دهم لیتر تعبیه شده بود تا بتوان مقدار آب آبیاری مورد نیاز هر کرت را اندازه‌گیری کرد. پس از رسیدن محصول، برداشت به‌صورت دستی انجام شد. مشخصات خاک آزمایش و آب آبیاری به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

این خصوص داشت (Afshar and Neshat, 2013). در همین راستا، مونتاژ و همکاران در مزارع مشابه در همین منطقه به ارزیابی مدل AquaCrop در کشت سیب‌زمینی در شرایط مختلف آبیاری پرداختند و نشان دادند که این مدل قابلیت مطلوبی جهت ارزیابی این مزارع داشت به‌طوری‌که مقدار شاخص توافق و ضریب تعیین بیشتر از ۹۰ درصد بود (Montoya et al., 2016). سناریوهای مورد بررسی در این تحقیق شامل تأمین ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی بود و نتایج این مطالعه نشان داد که دو سناریو ۶۰ و ۸۰ درصد بهترین نتایج را در خصوص استفاده از آب داشتند. بر اساس سابقه تحقیق، مدل AquaCrop دقت مطلوبی در خصوص شبیه‌سازی عملکرد گیاهان مختلف از جمله سیب‌زمینی در شرایط مختلف آبیاری دارد. با این وجود مطالعات محدودی در خصوص تعیین برنامه‌ریزی مناسب آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop بر این محصول انجام شده است. هدف این تحقیق دستیابی به یک برنامه مناسب برای آبیاری سیب‌زمینی با استفاده از واسنجی این مدل گیاهی در شرایط مزرعه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی، داده‌های برداشت شده از مزرعه آزمایشی واقع در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته در شهرکرد در طول جغرافیایی $56^{\circ} 50'$ شرقی و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 18'$ شمالی و ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا به مدل AquaCrop معرفی شد. این داده‌ها به‌منظور واسنجی این مدل در نظر گرفته شد. بذر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physico-chemical characteristics of soil

Depth	Soil texture	Bulk density	PWP	FC	pH	EC	Organic carbon	Total N	P	K
عمق	بافت خاک	جرم ظاهری خاک	رطوبت نقطه پژمردگی	رطوبت ظرفیت زراعی	واکنش خاک	شوری خاک	کربن آلی	نیترژن کل	فسفر	پتاسیم
cm		$g.cm^{-3}$	$cm^3.cm^{-3}$		-	$dS.m^{-1}$	%	%		ppm
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

Table 2-Irrigation water properties

SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	pH	EC
meq.l ⁻¹								اسیدیته	هدایت الکتریکی
								-	dS.m ⁻¹
0.8	0.4	2.9	-	-	0.7	3.4	3.4	7.7	0.37

کاهش یافته و به تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد. این عمل سبب کاهش ماده خشک تولیدی و عملکرد سیب‌زمینی می‌شود.

پیش از واسنجی، تحلیل حساسیت این مدل بر اساس رابطه (۷) انجام 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، $5 < Sc < 15$ حساسیت متوسط، $Sc < 5$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). سپس دقت این مدل در مرحله واسنجی با استفاده از روابط (۸) تا (۱۳) ارزیابی شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

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

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

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

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

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

این مدل برای تعیین عملکرد محصول از رابطه (۲) استفاده می‌کند.

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} \right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x} \right) \quad (2)$$

که در این معادله، Y_x و Y_a 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 است. وزن غده سیب‌زمینی و زیست‌توده کل نیز به ترتیب از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند.

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (3)$$

$$Y = B \times HI \quad (4)$$

که در این روابط، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی (رابطه ۵)، WP بهره‌وری آب، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع، Y و B به ترتیب عملکرد و زیست‌توده خشک و HI شاخص برداشت است.

$$Tr = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (5)$$

که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC توسعه تاج پوشش از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه (رابطه ۶) هستند.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (6)$$

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

برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه با استفاده از مدل AquaCrop

زراعی به شبیه‌سازی پردازد. تغییرات پارامترهای "رطوبت در نقطه پژمردگی" و "رطوبت در حالت اشباع" اثر کمی بر تغییرات خروجی مدل داشتند به همین دلیل حساسیت مدل به تغییرات رطوبت در مقادیر کم، چندان زیاد نیست.

پس از تحلیل حساسیت، واسنجی مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای انجام شد. پارامترهای واسنجی شده و نتایج حاصل از واسنجی به ترتیب در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. مقادیر RMSE برای عملکرد و کارایی مصرف آب مطلوب است. بر اساس پارامتر NRMSE، دقت این مدل در مرحله واسنجی عالی است. نتایج به دست آمده از آماره‌ی MBE نیز نشان داد که می‌توان به نتایج به دست آمده از این مدل اعتماد نمود. آماره‌های EF و d نیز نشان دادند که کارایی این مدل قابل قبول است. با توجه به نتایج مشابه که توسط محققانی چون کاترجی و همکاران (Katerji et al., 2013) و حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش شده است می‌توان به دقت این مدل برای اجرای سناریوها اعتماد کرد. برخی از سناریوهای اجرا شده توسط این مدل در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. میزان تخلیه رطوبت در ناحیه ریشه بر اساس جدول (۱) به مدل تعریف شد. پس از تخلیه تا حد تعیین شده، آبیاری توسط مدل به همان میزان در نظر گرفته می‌شد. با توجه به حساسیت این مدل به رطوبت در ظرفیت زراعی (جدول ۳)، چند سناریو نیز توسط مدل برای رسیدن به مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد تا بتوان نتایج هر دو سناریو را با هم مقایسه کرد. این دو نوع سناریو به صورت سناریوهای FC در شکل (۱) Ix و (که x میزان آبیاری برحسب میلی‌متر است) در شکل (۲) مشخص شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش مقدار تخلیه رطوبت در خاک مقدار عملکرد نیز کاهش یافت. این روند به صورت نزولی با شیب کم ادامه یافت، لیکن در تخلیه آب به میزان ۸۵ میلی‌متر میزان عملکرد به صورت ناگهانی به حد خیلی کم (۰/۰۱ تن در هکتار) کاهش یافت. این روند برای هر دو سناریوی Ix و FC مشاهده شد. تفاوت چندان‌ی بین دو سناریوی Ix و FC در حالت‌های مشابه مشاهده نشد.

که در این روابط، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، MBE میانگین خطای اریب، EF کارایی مدل، d شاخص توافق ویلموت و R^2 ضریب تبیین است. 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 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.

پس از واسنجی، سناریوهای مختلف آبیاری با استفاده از این مدل ارزیابی شدند. این سناریوها با استفاده از اجرای این مدل به صورت متوالی در نرم‌افزار متلب بود به طوری که سناریوی‌های مختلف تخلیه آب از ناحیه ریشه و اعمال آبیاری پس از آن شبیه‌سازی شد. سپس نتایج به دست آمده بر اساس بهترین نتایج از نظر عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب مرتب شد. این نتایج به نرم‌افزار اکسل منتقل و تجزیه و تحلیل روی آن‌ها صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در جدول (۳) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، مدل AquaCrop نسبت به تغییرات اکثر پارامترها حساسیت متوسطی داشت. این مدل نسبت به پارامتر "رطوبت در ظرفیت زراعی" حساسیت زیادی داشت به همین دلیل تغییرات این پارامتر تغییرات زیادی در خروجی این مدل ایجاد می‌کرد. به همین دلیل تعیین دقیق مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی برای شبیه‌سازی بسیار اهمیت دارد. به همین دلیل در شبیه‌سازی سناریوهای آبیاری بخشی از شبیه‌سازی به عهده خود مدل قرار داده شد تا با استفاده از تخمین بهتر از رطوبت مورد نیاز در ظرفیت

جدول ۳- ضریب حساسیت برخی از پارامترهای مدل‌های AquaCrop

Table 3-Sensitivity coefficient for some of AquaCrop parameters

Parameter پارامتر	Sc (-25%)	Sc (+25%)	Sensitivity rate میزان حساسیت
PWP Moisture رطوبت نقطه پژمردگی	15.2	15.7	High
Moisture FC رطوبت ظرفیت زراعی	10.5	7.5	Medium
Moisture Saturation رطوبت اشباع	1.4	2.6	low-medium
Basal crop coefficient for transpiration ضریب گیاهی پایه برای تعرق	2.6	0.23	Low
Maximum effective rooting depth حداکثر عمق ریشه	1.4	2.6	low-medium
Sowing to emergence time زمان سبز شدن	6.2	6.9	Medium
Maximum canopy time زمان رسیدن به بیشینه کانوپی	10.9	8.1	Medium
Sowing to senescence time زمان پیری	2.1	20.5	medium-high
Sowing to maturity time زمان رسیدن به بلوغ	4.5	22.1	medium-high

جدول ۴- برخی پارامترهای ورودی مدل AquaCrop

Table 4-Some of input parameters for AquaCrop

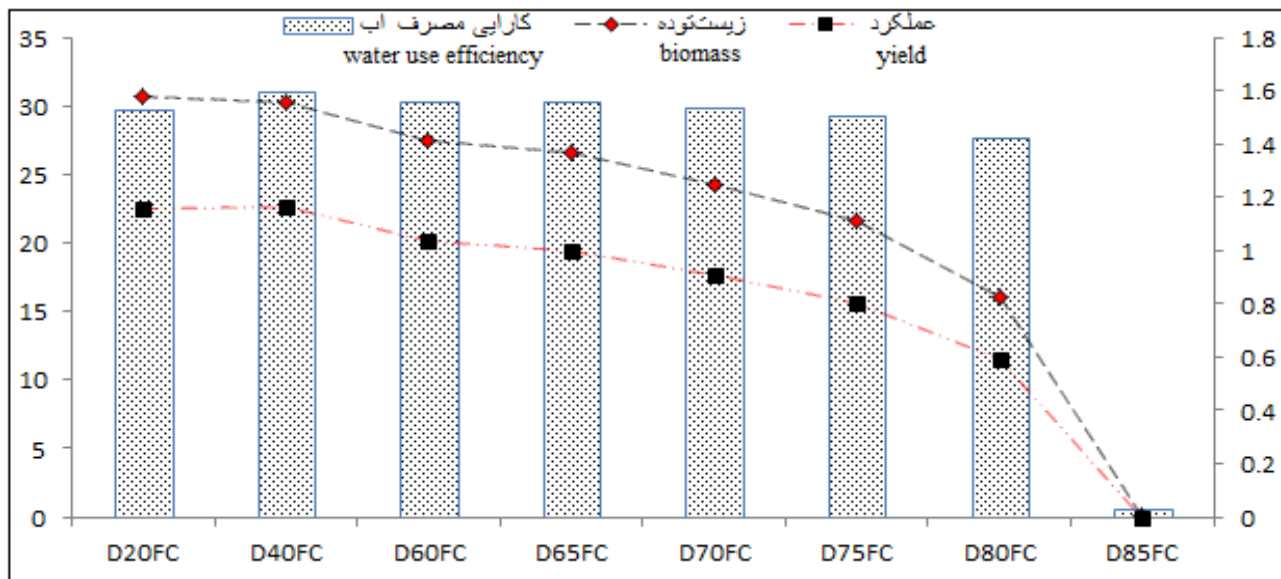
Parameter پارامتر	Unit واحد	Value مقدار	Description توضیحات
Base temperature دمای پایه	°C	۲	Default
Maximum temperature دمای حداکثر	°C	۲۶	Default
Water productivity normalized بهره‌وری آب نرمال شده	g.m ⁻²	۲۰	Calibrated
Initial canopy پوشش اولیه گیاه	%	۵	Calibrated
Maximum canopy پوشش حداکثر گیاه	%	۹۲	Calibrated
Soil water depletion threshold for canopy expansion-Upper آستانه بالای تخلیه رطوبت خاک برای توسعه گیاه	-	۰/۲	Calibrated
Soil water depletion threshold for canopy expansion-Lower آستانه پایین تخلیه رطوبت خاک برای توسعه گیاه	-	۰/۸	Calibrated
Canopy growth coefficient ضریب توسعه سایه‌انداز	%/day	۱۵/۵	Calibrated
Canopy decline coefficient ضریب زوال سایه‌انداز	%/day	۱/۹	Calibrated
Basal crop coefficient for transpiration ضریب گیاهی پایه برای تعرق	%/day	۱/۴	Calibrated

برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه با استفاده از مدل AquaCrop

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

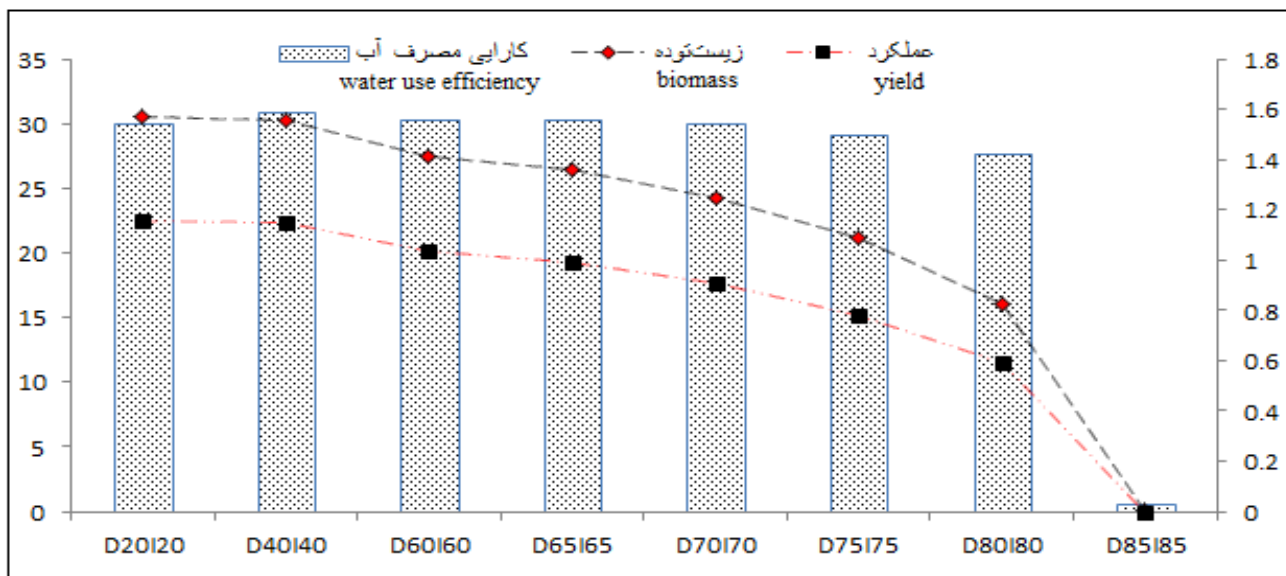
Table 5- Statistical criteria rates for simulating potato in calibration and validation stages

Parameter پارامتر	Stage مرحله	d	EF	MBE	NRMSE	RMSE
Yield عملکرد	Calibration	0.99	0.99	-0.25	0.09	2.1
	Validation	0.99	0.95	-0.73	0.05	1.5
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



شکل ۱- نتایج عملکرد (تن بر هکتار)، زیست‌توده (تن بر هکتار)، و کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) برخی سناریوهای اجرا شده توسط مدل AquaCrop (D) بیان‌کننده تخلیه آب خاک بر حسب میلی‌متر و FC نشان‌دهنده آبیاری تا میزان رطوبت در ظرفیت زراعی است. به‌عنوان مثال D60FC نشان‌دهنده تخلیه آب به میزان ۶۰ میلی‌متر و آبیاری به تارسیدن به ظرفیت زراعی است).

Fig 1-Results of yield, biomass and water use efficiency for some scenarios using AquaCrop (D represents soil water depletion (mm), and FC represents irrigation amount to reach field capacity moisture, e.g. D60FC indicates soil depletion as 60 mm and applying irrigating to reach FC).



شکل ۲- نتایج عملکرد (تن بر هکتار)، زیست توده (تن بر هکتار) و کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) برخی سناریوهای اجرا شده توسط مدل AquaCrop (D نشان دهنده تخلیه آب خاک بر حسب میلی متر و I نشان دهنده میزان آبیاری بر حسب میلی متر است. به عنوان مثال D60I60 نشان دهنده تخلیه آب خاک به میزان ۶۰ میلی متر و آبیاری به میزان ۶۰ میلی متر است).

Fig 2-Results of yield, biomass and water use efficiency for some scenarios using AquaCrop (D represents soil water depletion (mm), and I represents amount of applying irrigation, e.g. D60I60 indicates soil water depletion as 60 mm and applying irrigation as 60 mm).

با توجه به جدول (۱)، مقدار آب ذخیره شده بین دو مقدار FC و PWP برابر با ۹۸ میلی متر است. با توجه به نتایج به دست آمده، می توان تخلیه رطوبتی ۴۰ میلی متر را به عنوان تخلیه رطوبت سهل الوصول دانست؛ بنابراین با کاهش رطوبت بیشتر از این مقدار، کم آبیاری صورت گرفته است. برای تعیین بهترین میزان تخلیه آب برای کم آبیاری، از پارامتر کارایی مصرف آب استفاده شد. بر اساس این پارامتر که در هر دو شکل (۱) و (۲) نشان داده شده است؛ تخلیه رطوبتی ۴۰ الی ۷۰ میلی متر بالاترین میزان کارایی مصرف آب را داشتند و مقادیر کارایی مصرف آب در ۱/۵۴ تا ۱/۵۶ متغیر بود. به همین دلیل این بازه به عنوان بهترین بازه برای اعمال کم آبیاری در نظر گرفته شد. سپس سناریوهای متعددی برای این بازه اجرا شد که شامل تخلیه آب به میزان ۴۰ (الی ۷۰ میلی متر) و آبیاری به میزان صفر الی ۴۰ (الی ۷۰ میلی متر) بود. نتایج به دست آمده برای عملکرد، زیست توده و کارایی مصرف آب به ترتیب در شکل های (۳) تا (۵) نشان داده شده است.

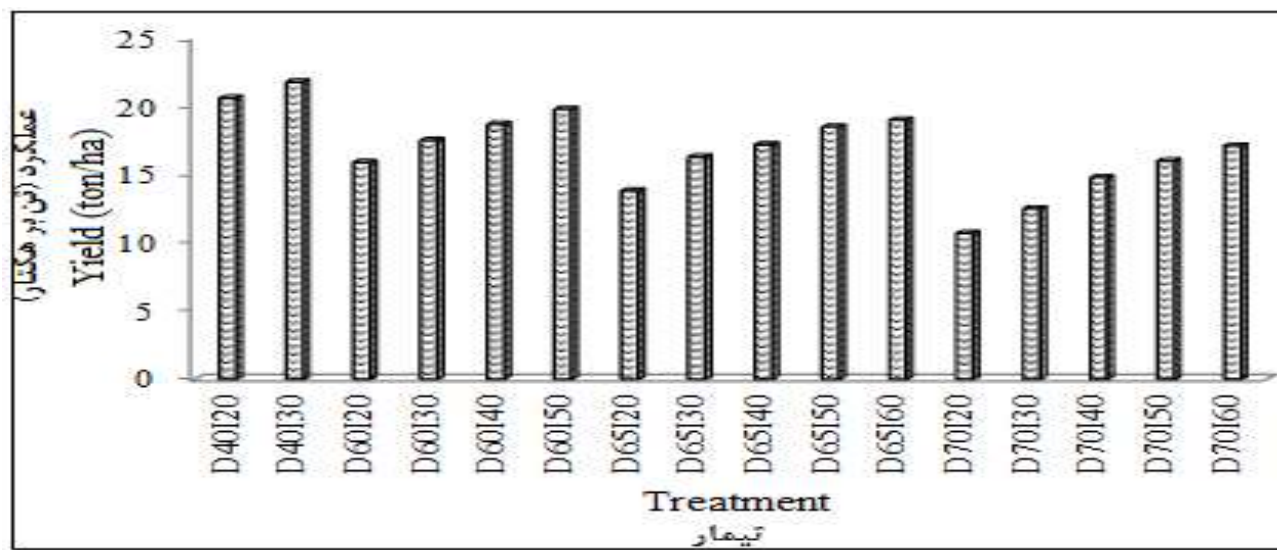
بر اساس نتایج عملکرد، بیشترین عملکرد برابر با ۲۱/۸ (D70I20) و کمترین عملکرد برابر با ۱۰/۸ (D40I30) تن بر

تفاوتی بین عملکرد در تخلیه ۲۰ و ۴۰ میلی متر در هر دو سناریوی Ix و FC مشاهده نشد. کاهش عملکرد در سناریوی D60FC نسبت به D40FC برابر با ۲/۵ تن در هکتار بود، در حالی که کاهش عملکرد در سناریوی D80FC به میزان ۱۱ تن از D40FC کمتر بود. با این وجود کاهش مقدار تخلیه آب از ۲۰ به ۴۰ میلی متر سبب کاهش زیست توده سیب زمینی به میزان ۱/۳ درصد در سناریوی FC و ۰/۹ درصد در سناریوی Ix شد. بدیهی است که با کاهش مقدار تخلیه آب، مقدار زیست توده نیز روندی نزولی داشت. این نتایج در هر دو سناریوی Ix و FC مشاهده شد. علی رغم حساسیت مدل AquaCrop به مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی، تفاوت چندانی بین نتایج به دست آمده در دو سناریوی Ix و FC به دست نیامد. بیشترین اختلاف بین این دو سناریو در مقدار زیست توده در تخلیه ۲۰ میلی متر آب و به میزان ۰/۲ تن در هکتار بود. در هر دو سناریو، با تخلیه آب از مقدار ۸۰ میلی متر مقدار زیست توده به شدت افت کرد و به مقداری نزدیک صفر رسید.

برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه با استفاده از مدل AquaCrop

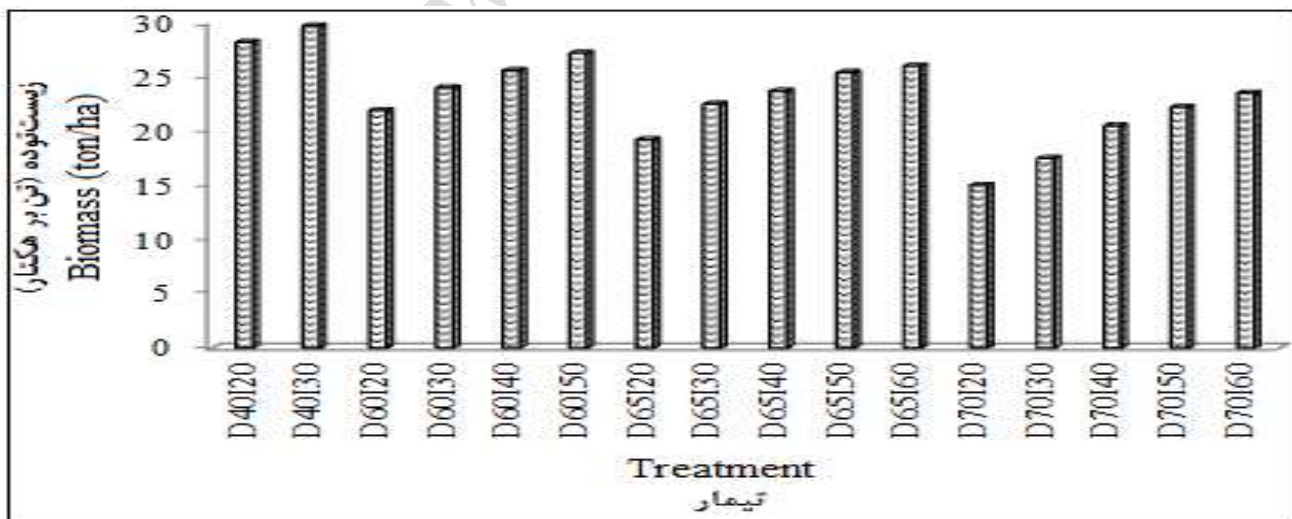
این نتایج نشان داد که تخلیه آب کمتر از ۶۵ میلی‌متر منجر به کاهش شدید عملکرد می‌شود. نتایج زیست توده نیز نشان داد که بیشترین زیست توده در سناریوهای D40I20، D40I30 و D60I50 و کمترین زیست توده در سناریوهای D70I20، D65I20 و D70I30 بود. مقدار زیست توده در سناریو D70I20 به میزان ۴۹/۴ درصد کمتر از D40I30 بود.

هکتار بود. مقدار عملکرد D40I30 نسبت به D40FC به میزان ۳/۵ درصد کمتر بود. پس از این سناریو، سناریوهای D40I20، D60I50 و D65I60 بیشترین مقادیر عملکرد را نسبت به سایر سناریوها داشتند. کاهش عملکرد در سناریو D65I60 نسبت به D40FC ۱۸/۹ درصد بود. کمترین مقادیر عملکرد را نیز D70I40 و D65I20 پس از سناریو D70I20 داشتند.



شکل ۳- نتایج عملکرد برخی سناریوها توسط مدل AquaCrop (D بیان‌کننده تخلیه آب خاک بر حسب میلی‌متر و I نشان‌دهنده میزان آبیاری بر حسب میلی‌متر است. به‌عنوان مثال D60I60 نشان‌دهنده تخلیه آب خاک به میزان ۶۰ میلی‌متر و آبیاری به میزان ۶۰ میلی‌متر است).

Fig 3-Results of yield for some scenarios using AquaCrop (D represents soil water depletion (mm), and I represents irrigation amount (mm), e.g. D60I60 indicates water soil depletion as 60 mm and applying irrigation as 60 mm).

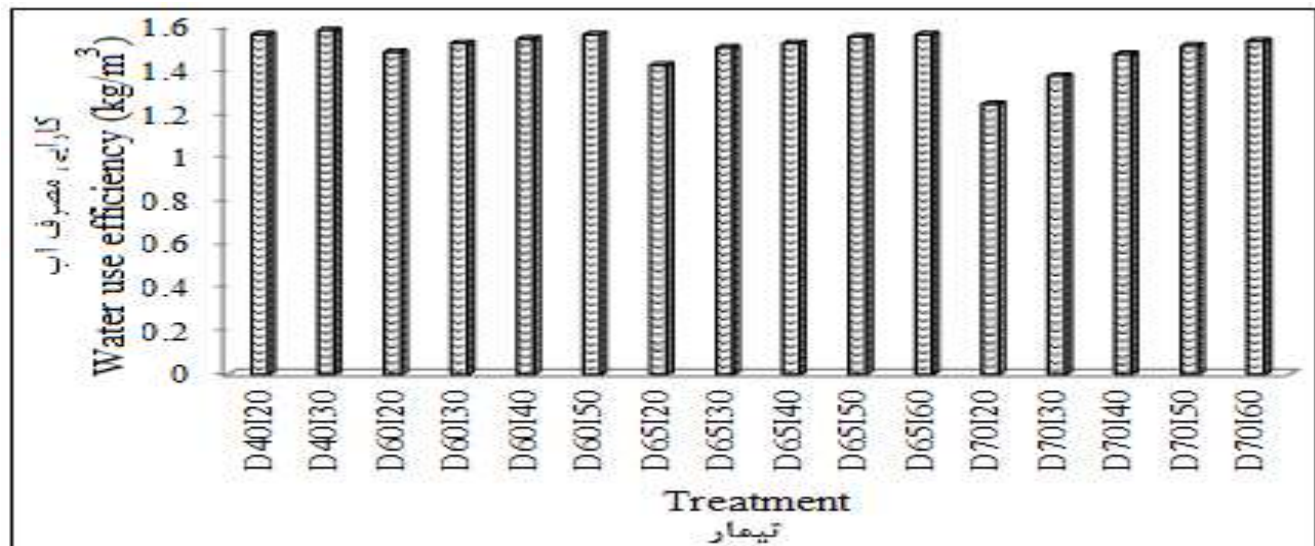


شکل ۴- نتایج زیست توده برخی سناریوها توسط مدل AquaCrop (D بیان‌کننده تخلیه آب خاک بر حسب میلی‌متر و I نشان‌دهنده میزان آبیاری بر حسب میلی‌متر است. به‌عنوان مثال D60I60 نشان‌دهنده تخلیه آب خاک به میزان ۶۰ میلی‌متر و آبیاری به میزان ۶۰ میلی‌متر است).

Fig 4- Results of biomass results for some scenarios using AquaCrop (D represents soil water depletion (mm), and I represents irrigation amount, e.g. D60I60 indicates soil water depletion as 60 mm and applying irrigation as 60 mm).

مترمکعب است. بیشترین کارایی مصرف آب در سناریوهای D40I20، D40I30 و D60I50 و کمترین کارایی مصرف آب در سناریوهای D70I20، D70I30 و D65I20 مشاهده شد.

به منظور تصمیم‌گیری در مورد مناسب‌ترین سناریو در کم‌آبایی سیب‌زمینی، نتایج کارایی مصرف آب کلیه سناریوها با هم مقایسه شد. نتایج نشان داده شده در شکل (۵) نشان می‌دهد که دامنه تغییرات کارایی مصرف آب بین ۱/۲۴ تا ۱/۵۸ کیلوگرم بر



شکل ۵- نتایج کارایی مصرف آب برخی سناریوها توسط مدل AquaCrop (D بیان‌کننده تخلیه آب خاک بر حسب میلی‌متر و I نشان‌دهنده میزان آبیاری بر حسب میلی‌متر است. به عنوان مثال D60I60 نشان‌دهنده تخلیه آب خاک به میزان ۶۰ میلی‌متر و آبیاری به میزان ۶۰ میلی‌متر است).

Fig 5- Results of water use efficiency for some scenarios using AquaCrop (D represents soil water depletion (mm), and I represents irrigation amount, e.g. D60I60 indicates soil water depletion 60 mm and applying irrigation as 60 mm).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی مدل واسنجی شده AquaCrop به منظور تعیین برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی در شهرکرد نشان داد که کم‌آبایی با کاهش تخلیه آب کمتر از ۴۰ میلی‌متر رخ می‌دهد. از طرفی کاهش مقدار آب آبیاری بیشتر از ۸۰ میلی‌متر سبب افت شدید عملکرد و زیست‌توده شد. به منظور اعمال کم‌آبایی دامنه تخلیه رطوبت ۴۰ تا ۶۵ میلی‌متر قابل قبول است. بالاترین عملکرد و زیست‌توده به سناریو D40I40 اختصاص داشت. در صورت نیاز به کم‌آبایی و در شرایط کمبود زمین، سناریوهای D40I30، D40I20 و D60I50 به عنوان مناسب‌ترین سناریوها پیشنهاد می‌شوند. در صورت اعمال کم‌آبایی و کمبود آب در دسترس، سناریوهای D60I40، D60I30 و D65I30 می‌توانند به عنوان سناریوهای مناسب در نظر گرفته شوند.

همچنین با جمع‌بندی نتایج به دست آمده از شکل‌های (۳) تا (۵)، سناریوهای D60I40، D60I30 و D65I30 به عنوان سناریوهایی با نتایج نسبتاً مطلوب می‌توانند در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال سناریو D65I30 با کارایی مصرف آب ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب، عملکرد ۱۶ تن بر هکتار و زیست‌توده ۲۲/۵ تن در هکتار نتایج نسبتاً قابل قبولی نسبت به سناریو D40I40 داشت. کاهش کارایی مصرف آب، عملکرد و زیست‌توده این سناریو نسبت به سناریو D40I40 به ترتیب برابر با ۱/۹، ۲۷ و ۲۶/۷ درصد بود. درصد تغییرات برای سناریو D60I40 به ترتیب برابر با ۰/۷ (افزایش)، ۱۶/۸ (کاهش) و ۱۶/۶ (کاهش) بود. نتایج مشابه برای D60I30 به ترتیب برابر با ۰/۷، ۲۲/۲ و ۲۱/۸ درصد و به صورت کاهشی بود. کاهش مقدار آب مصرفی در سناریوهای D60I40، D60I30 و D65I30 نسبت به D40I40 به ترتیب برابر با ۱۷/۴، ۸/۶ و ۹/۲ درصد بود.

برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی بر اساس تخلیه رطوبت از ناحیه ریشه با استفاده از مدل AquaCrop

فهرست منابع

References

- احمدی، م.، ع. خاشعی‌سیوکی و م. ح. سیاری. ۱۳۹۵. بررسی مدل مناسب تعیین نیاز آبی زعفران (*Crocus sativus* L) و تعیین میزان تنش‌های آبی وارده، بوم‌شناسی کشاورزی، ۸(۴): ۵۲۰-۵۰۵.
- بهراملو، ر. و ا. ناصری. ۱۳۸۹. تأثیرپذیری کارایی مصرف آب و عملکرد سیب‌زمینی رقم سانه از آبیاری محدود. آبیاری و زهکشی، ۱(۴): ۹۸-۹۰.
- ضیایی، غ.، ح. بابازاده، ح. عباسی و ف. کاوه. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize در برآورد اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت. تحقیقات آب‌و خاک ایران، ۴۵(۴): ۴۴۵-۴۳۵.
- رحیمی‌خوب، ح.، ع. ستوده‌نیا و ع. مساح‌بوانی. ۱۳۹۳. واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۱): ۱۱۵-۱۰۸.
- حیدری‌نیا، م.، ع. ناصری و س. برومندنسب. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مهندسی منابع آب، ۵(۱): ۴۱-۳۹.
- اسکندری، ع.، ح. ر. خزایی، ا. نظامی و م. کافی، م. ۱۳۹۰. مطالعه تأثیر رژیم آبیاری بر عملکرد و برخی از خصوصیات کیفی سه رقم سیب‌زمینی، آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۲): ۲۴۷-۲۴۰.
- ابراهیمی‌پاک، ن. ۱۳۹۳. تعیین ضریب واکنش عملکرد سیب‌زمینی نسبت به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد در شهرکرد، مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۵): ۵۰-۳۹.
- Afshar, A. and A. Neshat. 2013.** Evaluation of AquaCrop computer model in the potato under irrigation management of continuity plan of Jiroft region, Kerman, Iran. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1(12): 1669-1678.
- 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.
- Boogaard, H. L., C. A. Van Diepen., R. P. Rotter., J. M. C. A. Cabrera and H. H. Van Laar. 1998.** WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5 (No. 52). SC-DLO.
- FAOSTAT, 2013.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistic division. [Online: <http://faostat3fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S;November11,2013>].
- 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 Journal 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.
- Hsiao, T. C., L. Heng., P. Steduto., B. Rojas-Lara., D. Raes and E. Fereres. 2009.** AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agron.J. 101(3), 448-459.

- 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.
- King, B., J. Stark and S. Love. 2003.** Potato production with limited water supplies. Idaho Potato Conference. January 22.
- 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.
- Lynch, D. R. and G. C. Tai. 1989.** Yield and yield component response of eight potato to water stress. *Crop. Sci.*, 29: 1207-1211.
- Marutani, M. and F. Cruz. 1989.** Influence of supplement irrigation on development of potato in the tropics. *Hort. Sci.*, 24: 920-923.
- 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.
- Montaya, F., D. Camargo., J. F. Ortega., J. I. Corcoles and A. Dominguez. 2016.** Evaluation of AquaCrop model for a potato crop under different irrigation conditions, *Agricultural Water Management*, 164(2): 267-280.
- 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.
- 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.
- Shock, C. C. 2004.** Efficient irrigation scheduling. Malheur Experiment Station, Oregon State University, Oregon, USA.
- Shock, C. C. and E. B. G. Feibert. 2002.** Deficit irrigation on potato. In *Deficit irrigation practices*. FAO. Rome.pp:47-56.
- 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.
- 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 of Water Resources, Wageningen Agricultural University, 167 pp.
- Yuan, B. Z., S. Nishiyama and Y. Kang. 2003.** Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip- irrigated potato. *Agricultural water Management*, 63: 153-167.
- Zerust, J. 1995.** The effects of drought on the potato leaf area. CAB abstract.

Potato Irrigation Planning based on Moisture Depletion using AquaCrop

M. A. Ansari¹, A. Egdernezhad^{*2} and N. A. Ebrahimipak³

Received date: 16 November 2017

Accepted date: 18 April 2018

Abstract

In order to potato irrigation planning based on moisture depletion, calibrated AquaCrop was used. This model was calibrated using data collected from a research station in Chahartakhteh, Shahrekord, in two years. Then, Aquacrop was implemented under multi run in different depletion and irrigation scenarios (DyIx; which y indicates depletion amount and x indicates irrigation amount). Results revealed that there was no water stress under 40 mm depletion and 40 mm irrigation. Crop yield and biomass was so low when depletion was more than 80 mm. In order to apply deficit irrigation, depletion must be between 40 to 70 mm. Based on the results, maximum yield was observed for D40I40 (22.6 ton.ha⁻¹) and minimum yield was observed for D70I20 (10.8 ton.ha⁻¹). In the case of water deficit, D60I40, D60I30, and D65I30 were the best scenarios so that the yields for mentioned scenarios were 16.8, 22.2, and 27 percent less than D40I40 yield. Biomass values for mentioned scenarios were 16.6, 21.8, and 26.7 percent less than D40I40 biomass. Water use efficiency for this scenarios were 0.7 (more), 0.7 (less), and 1.9 (less) than D40I40 one. So, D40I40 and D60I40 were the best scenario in full and deficit irrigation, respectively.

Key words: Biomass, Deficit Irrigation Scenarios, Water Use Efficiency, Cropping Models

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

* Corresponding Author: a_egder@yahoo.com