دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و نهم، ۱۳۹۸

بررسی پوشش مالچ مصنوعی جهت افزایش کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop

راضیه اسکندری پور[۱]، افشین خورسند[۲]، وحید رضاوردی نژاد[۳]، کامران زینال زاده[٤]، امیر نورجو[٥]

دریافت: ۹٦/۲/٥ پذیرش: ۹٦/۸/۱

چکیده

در مطالعه حاضر نرم‌افزار آکوکراپ جهت پیش‌بینی عملکرد و کارایی مصرف آب محصول گوجه‌فرنگی در شرایط استفاده از پوشش مالچ و شرایط اقلیمی منطقه کهریز ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح فاکتوریل اسپلیت پلات انجام گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل فاصله بین ردیف در ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته در ۳۰ و ٤۰ سانتی‌متر و نحوه استفاده از مالچ در سه حالت شامل پوشش تمام پشته و نصف جوی از مالچ، پوشش تمام جوی و نصف پشته از مالچ و تیمار بدون مالچ بود. آبیاری هر کرت به صورت مستقل انجام شد. پس از واسنجی مدل با داده‌های سال اول آزمایش براساس R^2 حداکثر (۰/۹۹) و NRMSE حداقل (۰/۵۲)، نتایج ارزیابی براساس شاخص‌های آماری نشان داد که نرم‌افزار آکوکراپ به صورت مناسبی عملکرد محصول، کارایی مصرف آب و رطوبت خاک را برای گوجه فرنگی با تراکم‌های کاشت متفاوت و سه حالت استفاده از مالچ شبیه‌سازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تراکم کشت، رطوبت خاک، کهریز ارومیه، مالچ پلی‌اتیلن

اسکندی پور، ر.، ا. خورسند، و. رضاوردی نژاد، ک. زینال زاده و ا. نورجو. ۱۳۹۸. بررسی پوشش مالچ مصنوعی جهت افزایش کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۹: ۸۵-۷۱.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران- مسئول مکاتبات. af_kh38@yahoo.com

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

٤- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۵- پژوهشگر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه، ایران

مقدمه

در ایران تقریبا سه اقلیم آب و هوایی غالب وجود دارد که قسمت اعظم آن به وسعت ۷٤ درصد دارای اختصاصات آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است. پس شرایط جوی و میزان بارندگی ایجاب می‌نماید که در بخش وسیعی از کشور، برای کشت محصولات زراعی آبیاری انجام شود اما به دلیل عدم دسترسی به منابع آبی کافی و پایدار، بخش کشاورزی با مشکل جدی روبرو می‌باشد (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸). با وجود وسعت تقریباً یکسان کشت دیم و آبی کشور، بیشتر تولید از بخش فاریاب حاصل می‌شود. به‌طوری که در طول سال‌های اخیر تقریباً همواره نزدیک به ۹۰ درصد کل تولید محصولات کشاورزی ایران از کشت‌های آبی حاصل شده است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). امروزه با بروز خشکسالی‌های پیاپی و کاهش منابع آبی، مهندسان و حتی کشاورزان به فکر افزایش بهره‌وری منابع محدود آب و خاک افتاده‌اند. شعار بخش کشاورزی در نیمه اول قرن جاری نیز، تولید بیشتر از هر قطره آب می‌باشد. در صورتی که در گذشته آب را به عنوان یک منبع ارزان و قابل دسترس می‌پنداشتند (زیدعلی و خالدی، ۱۳۸۲). تجارب کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد که تحقق شعار فوق نیاز به زمان و بستر مناسب دارد. در نتیجه با برنامه‌ریزی دقیق براساس استعدادها و محدودیت‌های هر منطقه می‌توان توسعه پایداری ایجاد نمود (دوناتلی و همکاران، ۱۹۹۹). در کشور ما بهره‌وری آب کشاورزی همانند بهره‌وری سایر منابع در سطح بسیار پایین و غیر قابل قبول قرار دارد. ضریب بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در ایران ٤۱ درصد و متوسط جهانی آن ٦۵ درصد است. این بهره‌وری پایین آب سبب بروز بحران آب به خصوص در مناطق خشک شده است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸). استفاده از مالچ باعث تنظیم رطوبت خاک و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب، کنترل علف‌های هرز، کاهش شستشوی عناصر در خاک، گرم نمودن خاک در اوایل فصل و در نتیجه زود-رسی محصول، بهبود کیفیت میوه، افزایش رشد رویشی و عملکرد می‌شود (دین و جیمز). با توجه به موارد ذکر شده استفاده از مالچ ضروری به نظر می‌رسد (نورجو، ۱۳۸۹).

چن و همکاران (۲۰۱۱) نرم‌افزار آکوکراپ را برای عملکرد گوجه‌فرنگی و استفاده از آب تحت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای در منطقه دیویس تحت شرایط محیطی گرم و خشک مدیترانه‌ای ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که نرم‌افزار پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق و عملکرد خشک را برای هر دو سیستم آبیاری به دقت شبیه‌سازی کرده است. دارکو و همکاران (۲۰۱٦) تحقیقی درباره واسنجی و اعتبارسنجی نرم‌افزار آکوکراپ برای محصول گوجه‌فرنگی تحت شرایط آبیاری کامل و کسرهایی از آبیاری در منطقه مرکزی غنا انجام دادند. چهار تیمار عبارت بودند از: ۱- ۰ درصد (بدون آبیاری پس از استقرار بوته)، ۲- تامین ۵۰ درصد تبخیر و تعرق، ۳- تامین ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق تا گلدهی و ۵۰ درصد پس از گلدهی و ٤- تامین ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق. نتایج نشان داد که مدل قادر به شبیه‌سازی مناسب عملکرد محصول در تیمار ۲ و ٤ می‌باشد. در حالی که عملکرد محصول در تیمار ۱ را با خطای ٤۵/۱ ٪ شبیه‌سازی می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که مدل قادر به شبیه‌سازی نیاز فصلی آبی برای تمام تیمارها با بالاترین دقت می‌باشد. کاترجی و همکاران (۲۰۱۳) نرم‌افزار آکوکراپ را برای شبیه‌سازی پوشش تاجی (CC)، بیوماس و تبخیر و تعرق واقعی ، محصول برداشت شده و ضریب بهره‌وری آب گیاه در مورد گوجه‌فرنگی و ذرت در منطقه مدیترانه و با سه سطح تنش آبی؛ عدم تنش آبی گیاه (شاهد)، تنش متوسط و تنش شدید مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که نرم‌افزار آکوکراپ در حد مناسبی پوشش تاجی روزانه (CC) را در تیمار شاهد گوجه‌فرنگی و ذرت و همچنین تیمار تنش متوسط ذرت شبیه‌سازی می‌کند. همچنین نرم‌افزار آکوکراپ به جز تیمار تنش شدید در ذرت به طور مناسبی بیوماس روزانه تجمعی را شبیه‌سازی می‌کند. بیش‌برآوردی در عملکرد و کم‌برآوردی در تبخیر و تعرق فصلی باعث شد تا شبیه‌سازی ضریب بهره‌وری آب توسط نرم‌افزار بیش‌برآورد گردد. انصاری و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی را به منظور تعیین عمق بهینه آبیاری و تحلیل اقتصادی آن برای محصول گندم و گوجه‌فرنگی در مزارع خراسان رضوی (مشهد) به کمک نرم‌افزار آکوکراپ انجام دادند. با محاسبه چهار سطح از آب آبیاری (W_1، W_{e1}، W_w و W_m) نشان داده شد که حداکثر عمق آب آبیاری به میزان ۳۰ درصد برای گندم و ۱۰ درصد برای گوجه‌فرنگی برای به دست آوردن حداکثر عملکرد، کاهش مصرف آب صورت گرفت. منحنی توابع تولید این محصولات نشان از افزایش عملکرد ۵۷ درصد برای گندم و ۲۰ درصد برای گوجه‌فرنگی بود که در تحلیل اقتصادی سود حاصل از آن برای گندم ۵۱/۰۱ میلیون ریال برای گندم و ۱۱۷/۸۰ میلیون ریال برای گوجه‌فرنگی به دست آمد.

لازم به ذکر است تا به حال هیچ تحقیقی جهت شبیه‌سازی رطوبت پروفیل خاک، عملکرد و کارایی مصرف آب محصول گوجه‌فرنگی در شرایط استفاده از پوشش مالچ مصنوعی (پلاستیک سیاه) با نرم‌افزار آکوکراپ در ایران و سایر کشورها گزارش نشده است. لذا هدف تحقیق حاضر، واسنجی و ارزیابی

نرم‌افزار آکوکراپ برای برآورد میزان رطوبت خاک، عملکرد و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی رقم پتوارلی CH در خاک لوم شنی تا لوم در منطقه کهریز ارومیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای

آزمایشات مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کهریز ارومیه به مدت دو سال زراعی (۸۵-۱۳۸٤) اجرا گردید. ایستگاه کهریز در ٤٥ کیلومتری شمال شهرستان ارومیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۳ دقیقه و طول جغرافیایی ٤٥ درجه و ۱۰ دقیقه قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۵ متر می‌باشد. در این ایستگاه متوسط بارندگی ۳۰۰ تا ٤۰۰ میلی‌متر و دما بین ٤۲ و ۳۰- درجه سانتی‌گراد در تغییر است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است. ابتدا بذر گوجه‌فرنگی جهت تهیه نشاء در نیمه دوم اسفند در خزانه زیر پلاستیک کشت گردید. بعد از اینکه نشاء به اندازه استاندارد (دارای ۵ الی ٦ برگ حقیقی) رسید، تقریباً در اوایل خرداد به زمین اصلی منتقل گردید. قبل از انتقال نشاء به زمین، از خاک مزرعه نمونه‌گیری‌شده و نیاز کودی مزرعه تعیین و براساس آن، کود لازم داده شد. بعد از تسطیح و کوددهی، زمین به صورت جوی و پشته‌ای درآورده شد. تیمارهای آزمایش شامل فاصله بین ردیف‌های کاشت در دو سطح ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف در سطوح ۳۰ و ٤۰ سانتی‌متر و روش استفاده از مالچ در سه سطح بودند. سه روش استفاده از مالچ بدین ترتیب طراحی شدند که در روش اول تمام پشته و نصف جوی از مالچ پوشیده شد، در روش دوم تمام جوی و نصف پشته از مالچ پوشیده شد و روش سوم بدون مالچ بود. در تیمارهایی که دارای مالچ بودند، مالچ پلی‌اتیلنی از نوع سیاه با ضخامتی حدود ۰/۰۷ میلی‌متر استفاده گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. ترکیب فاصله بین ردیف‌های کشت و فاصله بین بوته‌ها به صورت فاکتوریل به عنوان فاکتورهای اصلی در کرت‌های اصلی و روش استفاده از مالچ به عنوان فاکتور فرعی در کرت‌های فرعی قرار گرفت. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کشت با طول پنج متر بود. در هر کرت قبل از هر آبیاری رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به روش وزنی اندازه‌گیری و سپس با توجه به جبران رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی، عمق آب آبیاری محاسبه و با توجه به مساحت هر کرت، حجم آب آبیاری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$V = \frac{A \times (\theta_{fc} - \theta_i) \times d}{e} \qquad (۱)$$

که در این رابطه Θ_{fc} درصد رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، Θ_i درصد حجمی رطوبت خاک هنگام آبیاری، d عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، e راندمان آبیاری (۹۰ درصد)، A مساحت کرت (مترمربع) و V حجم آب مورد نیاز کرت (متر-مکعب). حجم آب آبیاری و زمان آبیاری سال اول در جدول ۲ و سال دوم در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

آنالیز	سال اول	سال دوم
هدایت الکتریکی $EC\times10^{3}$ ($ds\ m^{-1}$)	۰/۸-۱	۰/۸-۱
pH	۷/۸	۷/۸
رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	۱۷/۳	۱۷
رطوبت پژمردگی دائم (درصد حجمی)	۷/۲	۷/۳
چگالی ظاهری ($gr\ cm^{-3}$)	۱/۳	۱/۳
رطوبت اشباع (درصد حجمی)	۳۵	۳۵
درصد رس	۱۲	۱۲
درصد لای	٤۳	٤۳
درصد شن	٤۵	٤۵
بافت خاک	لوم شنی تا لوم	لوم شنی تا لوم

برای تعیین عمق توسعه ریشه در هر مرحله از رشد در سه نقطه از مزرعه، نیم‌رخ شناسایی خاک حفر گردیده و عمق توسعه

ریشه اندازه‌گیری شد. عمق توسعه ریشه و سایر پارامترهای مربوط به مراحل فنولوژیکی گیاه در جدول ٤ آورده شده است. کارایی مصرف آب نیز از رابطه زیر محاسبه گردید:

#

$$WUE = \frac{\text{عملکرد}}{\text{مقدار آب مصرفی در طول دوره رشد}} \quad (۲)$$

که در این معادله عملکرد بر حسب تن در هکتار و مقدار آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد.

جدول ۲- زمان آبیاری و مقدار مصرف آب گیاه در تیمارهای مختلف در سال زراعی ۱۳۸٤

		پوشش تمام پشته و نصف جوی				پوشش تمام جوی و نصف پشته				بدون مالچ			
فاصله ردیف به سانتی‌متر		۱۲۰		۱۰۰		۱۲۰		۱۰۰		۱۲۰		۱۰۰	
فاصله بوته به سانتی‌متر		٤۰	۳۰	٤۰	۳۰	٤۰	۳۰	٤۰	۳۰	٤۰	۳۰	٤۰	۳۰
تاریخ آبیاری	نوبت	I۱	I۲	I۳	I٤	I٥	I٦	Iv	I۸	I۹	I۱۰	I۱۱	I۱۲
۸٤/۰۳/۲٥	۱	۲٤/٤	۲٤/٤	۲۰/٤	۲۳/٤	۲٤/٤	۲٤/٤	۲٤/٤	۲٤/٤	۲٤/٤	۲٤/٤	۲٤/٤	۲٤/٤
۸٤/۰۳/۳۰	۲	۱۰	۹/٥۲	۱۱/٦	۱۱/٤	۱۰/۳	۱۲/٦	۱۱/٤	۱۲/۸	۱۸/۹	۹/۸	۱۰/٦	۹/٥
۸٤/۰٤/۰۸	۳	۲۱/٤	۲۲/۲	۲۲/٥	۲۲/۹	۱۱/٥	۸/٥	۹/٤	۱۲/٥	۱٤/۳	۱٤/٦	۱٤/۸	۱٤/۸
۸٤/۰٤/۱۷	٤	۲٤	۲٤/٥	۲٤/۸	۲٥/۲	۱۱/۳	۱۲	۱۲/۱	۱۲/۸	۱٤/۳	۱٤/۲	۱٤/۹	۱٦/۳
۸٤/۰٤/۲۷	٥	۳٦	۲۳/۳	۲٦/٥	۲٦/۸	۱٥	۱٥/٤	۱٥/۷	۱٦	۱۷/٦	۱۸	۱۸	۱۸/۳
۸٤/۰٥/۰۲	٦	۲۲/٤	۲۲/۲	۲۲/٦	۲۳/۳	۱۰/۳	۱۰/۷	۱۰/۹	۱۱/٤	۱۳/۳	۱۳/۱	۱۳	۱۳/٦
۸٤/۰٥/۱۰	۷	۲٦/۷	۲۷	۲۷	۲۷/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱٤/۱	۱۸/٥	۱۹/۹	۲۰/۲	۲۰/۳	۲۰/٤
۸٤/۰٥/۱۹	۸	۳۸/٥	۳۹	۳۹/۱	۳۹/٤	۳۱/٥	۳۲	۳۱/٤	۳۲/٤	۳٤/٦	۳٥	۳٥	۳٥/۷
۸٤/۰٥/۲٥	۹	۳٥/۱	۳٥/۲	۳٥/۷	۳٦/۱	۱۷/۹	۱۸/۳	۱۸/۸	۱۹/۲	۲٤/۳	۲٤/٦	۲٤/۷	۲٤/۹
۸٤/۰٥/۳۱	۱۰	۲۹/۳	۲۹/۷	۲۹/٦	۳۰/٥	۹/۱	۹/۲	۹/۷	۱۰/۳	۱٦/۱	۱٦/٥	۱٦/٦	۱۷/۱
۸٤/۰٦/۱۰	۱۱	٤۰/۱	٤۱/۲	٤۱/۳	٤۱/۷	۲۰	۲۰/۸	۲۰/٥	۲۰/۷	۲۷/۷	۲۸/۱	۲۸/۱	۲۸/٤
۸٤/۰٦/۱٦	۱۲	۳۳/۸	۳٤/۱	۳٤/۲	۳٤/٥	۱۷/۸	۱۷/۸	۸/۲	۱۸/۸	۱۸/۹	۲۰/۳	۲۰/٤	۲۱
۸٤/۰۷/۲٦	۱۳	۳۸/۲	۳۸/٦	۳۸/٥	۳۸/۸	۲۱/۳	۲۱/۸	۲۳/۸	۲۰/۳	۲٤/۹	۲٥/۱	۲٥/۲	۲٥/۷
۸٤/۰۷/۰۳	۱٤	۲۰/٥	۲۰/۹	۲۱/۱	۲۱/٥	۱۰/٤	۱۰/۷	۱۰/۸	۱۱/۳	۱۷/۸	۱۸/۱	۱۸/۲	۱۸/٦
۸٤/۰۷/۱۲	۱٥	۲۹/۲	۲۹/٤	۲۹/۳	۳۰/۱	۱۹/۷	۲۰	۲۰/۲	۲۳/۹	۲۱/٤	۲۱/٦	۲۱/۷	۲۲/۱
۸٤/۰۷/۲٦	۱٦	۲۷/۷	۲۸/۲	۳۸/٤	۱۲/۹	۱۹/۲	۱٤/۹	۲۱	۱۷/۲	۲٤/۱	۲٤/٥	۲٤/٦	۲۱

نرم‌افزار آکوکراپ جدیدترین مدل گیاهی است که توسط فائو در سال ۲۰۰۷ ارائه گردیده است به طوری که به نظر کارشناسان طراح، این مدل در عین سادگی از دقت و قدرت بالایی در شبیه-سازی رشد محصول برخوردار می‌باشد. آکوکراپ یک مدل شبیه-سازی رشد گیاه براساس مقدار آب مصرفی می‌باشد که نسبت به مدل‌های دیگر به پارامترهای کمتری برای شبیه‌سازی نیاز دارد (استودوتو و همکاران، ۲۰۰۷ و خرسند و همکاران، ۱۳۹۳ و داوری و همکاران، ۱۳۹٤). بیشتر از ۲۰ سال است که نشریه شماره ۳۳ سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (هسیائو و همکاران، ۲۰۰۹) مرجع اصلی برآورد و تحلیل واکنش محصولات کشاورزی به مقدار آب مصرفی می‌باشد (توکلی و همکاران، ۲۰۱۵). نرم‌افزار آکوکراپ همانند برنامه کراپ‌وات براساس رابطه بین عملکرد نسبی و تبخیر تعرق نسبی به شکل زیر می‌باشد دورنباس و کاسام، ۱۹۷۹).

$$\left[\frac{Y_{max} - Y_a}{Y_{max}}\right] = K_y\left[\frac{ET_{max} - ET_a}{ET_{max}}\right] \quad (۳)$$

در این معادله Ymax عملکرد حداکثر، Ya عملکرد واقعی، ETmax تبخیر و تعرق حداکثر، ETa تبخیر و تعرق واقعی و Ky ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر تعرق می‌باشد. با پیشرفت‌های علمی و تجربی در روابط گیاه- آب از سال ۱۹۷۹، همراه با نیاز مبرم به بهبود بهره‌وری آب، فائو، نشریه ۳۳ خود را اصلاح و تکمیل نموده و به صورت نرم-افزار آکوکراپ ارائه داد.

جدول ۳- زمان آبیاری و مقدار مصرف آب گیاه در تیمارهای مختلف در سال زراعی ۱۳۸۵

		پوشش تمام پشته و نصف جوی				پوشش تمام جوی و نصف پشته				بدون مالچ			
فاصله ردیف به سانتی‌متر		۱۲۰		۱۰۰		۱۲۰		۱۰۰		۱۲۰		۱۰۰	
فاصله بوته به سانتی‌متر		۳۰	۴۰	۳۰	۴۰	۳۰	۴۰	۳۰	۴۰	۳۰	۴۰	۳۰	۴۰
تاریخ آبیاری	نوبت آبیاری	I۱	I۲	I۳	I٤	I٥	I٦	I۷	I۸	I۹	I۱۰	I۱۱	I۱۲
۸۵/۰۳/۱٦	۱	۲٤/٤	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
۸۵/۰۳/۲۰	۲	۱۹/٤	۲۰/٦	۲۰/۲	۲۰/٥	۹/۲	۹/۸	۱۰/٥	۹/۷	۱۱/۹	۱۱/٦	۱۱/٦	۱۲
۸۵/۰۳/۲۷	۳	۲٤/۸	۲٥/٦	۲٥/۱	۲۲/۸	۱۲/۳	۱۲/۸	۱۳/٤	۱۳	۱۷/٤	۱۷/۷	۱۷/۹	۱۷/۹
۸۵/۰٤/۰۳	٤	۲٥/٥	۲٥/۸	۲٦/۳	۲٦	۱٥/٥	۱٥/۲	۱٦/۱	۱٥/۹	۱۷/٤	۱۷/۹	۱۷/۷	۱۸/۲
۸۵/۰٤/۱۰	٥	۱۹/۹	۱۹/۸	۲۰	۲۰/۷	۹/۲	۹/٥	۹/٦	۱۰/۱	۱۱/۸	۱۱/٦	۱۱/٦	۱۲/۱
۸۵/۰٤/۱۹	٦	۲۳/۷	۲۳/۹	۲٤	۲٤/٤	۱٤/٥	۱٤/٦	۱٤/۹	۱٥/٥	۱٦/٤	۱٦/۷	۱٦/۸	۱۷
۸۵/۰٤/۲٥	۷	۲٥/۱	۲٤/۲	۲٤/۲	۲٦/۷	۱٥/٥	۱۷/۱	۱۷/۱	۱٤/۹	۱٦/۹	۱۷/۷	۱۷/٥	۱۷/٦
۸۵/۰٥/۰۱	۸	۳۷/٤	۳۷/۸	۳۸/۳	۳۸/۲	۳۰/۳	۳۱/۳	۳۰/٦	۳۱/۷	۳٤/۲	۳٤/۸	۳٤/٤	۳٥/۱
۸۵/۰٥/۰۸	۹	۲۹/٦	۳۰/۲	۳۰/۱	۳۱/٤	۱۳/۱	۱۲/٤	۱۲/۹	۱۳/٦	۱۸/٦	۱۹/۱	۱۸/۹	۱۹/٤
۸۵/۰٥/۱٥	۱۰	۲۹/۹	۲۹/۲	۲۹/۱	۳۰	۹	۸/٥	۱۰/۱	۱۲/۷	۱٦/٦	۱٦/۲	۱٦/٦	۱٦/۲
۸۵/۰٥/۲۲	۱۱	٤۰	۳۹/٥	٤۰/۳	٤۰/۹	۱۸/٥	۱۹/۹	۲۰/٤	۲۰	۲۷/٦	۲۷/٦	۲۸/۲	۲۸/۱
۸۵/۰٥/۲۹	۱۲	۳٤/۸	۳٤	۳٤	۳٤/۳	۱۷/٦	۱۷/۷	۱۷/۱	۱۸/۸	۱۹/۷	۲۰/۱	۱۸/٤	۲۰/۷
۸۵/۰٦/٥	۱۳	۳۷/۱	۳۷/۷	۳۸	۳۹/۱	۲۱/۱	۲۱/۷	۲۱/۸	۱۸/۹	۲٤/۲	۲٤/٥	۲٤/۹	۲٤/۷
۸۵/۰٦/۱۲	۱٤	۲۱/۷	۲۰/٦	۱۹/۹	۱۹/۲	۹/۹	۱۱/۲	۹/۸	۱۰/۲	۱۷/۷	۱۷/۸	۱۸/۷	۱۸/۳
۸۵/۰٦/۱۹	۱٥	۳۱/۹	۳۳/۲	۳۱/۷	۳۱/۹	۲۳/۲	۲۲/۹	۲٤/٤	۲٥/۷	۲۲/٤	۲۱/۸	۲۸/۳	۲۱/۲
۸۵/۰٦/۲٦	۱٦	۲۰/٦	۲۱/۷	۲۲/۹	۲۱/٤	۱۲/۱	٦/۷	۱۳/۳	۸/٥	۱٦/۱	۱٦/۷	۱۷	۱۲/۸
۸۵/۰۷/۰۹	۱۷	۱۰	۹/٥	۱۱/٦	۱۱/٤	۱۰/۳	۱۲/٦	۱۱/٤	۱۲/۸	۱۱/۸	۹/۸	۱۰/٦	۹/٥

جدول ٤- پارامترهای گیاهی مربوط به مراحل فنولوژیکی گوجه فرنگی

پارامتر	واحد	مقدار در سال اول	مقدار در سال دوم
تراکم کشت	بوته در هکتار	بسته به تیمار (۲۰۸۳۰، ۲۵۰۰۰، ۲۷۷۷۰، ۳۳۳۳۰)	
زمان ظهورجوانه‌ها	روز بعد از کاشت	٥	۱۰
زمان ماکزیمم پوشش گیاهی	روز بعد از کاشت	۷٤	۸۰
زمان بلوغ کامل	روز بعد از کاشت	۱۳۰	۱۱٥
مدت گلدهی	روز	۳٦	٤۲
حداکثر عمق ریشه	سانتی‌متر	٦۰	٦۰

ورودی و خروجی مدل

داده‌های ورودی این مدل نسبتا ساده و قابل دسترس است و شامل موارد زیر می‌شود:

داده‌های هواشناسی: (داده‌های بارش، تبخیر و تعرق پایه و حداقل و حداکثر دما)، تشعشع (ساعات آفتابی)، باد و رطوبت نسبی.

پارامترهای گیاه که رشد محصول و جذب آب در ریشه را تشریح می‌کند.

پارامترهای مدیریت در نرم افزار Aqua Crop به صورت مدیریت مزرعه و آبیاری همچون عملیات مالچ‌پاشی توصیف می‌شود. که با وارد کردن درصد پوشش مالچ روی زمین ضرایب معادلات تبخیر، تغییر می‌یابد(توکلی و همکاران، ۱۳۹۲).

برای اطلاعات اقلیمی مورد نیاز از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی شهر ارومیه استفاده و تبخیر تعرق مرجع نیز براساس از روش فائو پنمن مانتیث و با استفاده از نرم‌افزار ET_OCalculator محاسبه گردید. داده‌های گیاهی ورودی مدل شامل پارامترهای ثابت و داده‌های ویژه کاربر مانند تراکم و فواصل کاشت، عمق ریشه، تارخ کاشت و ... مطابق با شرایط آزمایش هستند. درصد مالچ روی زمین نیز بسته به نوع تیمار صفر و ۷۵ درصد وارد گردید. بدین ترتیب که در تیمارهای دارای پوشش

نصف جوی و تمام پشته و تیمارهای دارای پوشش تمام جوی و نصف پشته با مالچ، ۷۵٪ و برای تیمارهای بدون پوشش مالچ عدد صفر وارد گردید.

مهمترین خروجی‌ها در این مدل شامل تغییرات زمانی رطوبت در نیمرخ خاک، آب آبیاری مورد نیاز، تغییرات زمانی تبخیر و تعرق، پارامترهای موازنه آب خاک، درصد پوشش گیاهی در طول فصل رشد، عملکرد دانه، ماده خشک تولیدی، شاخص برداشت و نیز شاخص بهره‌وری تعرق در تولید دانه و ماده خشک تولیدی است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲).

پارامترهای ثابت

مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت برای گیاهان عمده زراعی در نرم‌افزار وجود دارد. این پارامترها در یک اقلیم با تغییر زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند. این پارامترها با استفاده از داده-های رشد گیاه در شرایط مطلوب بدون تنش واسنجی شده‌اند. اما لازم است برای شرایط آزمایش و مشخصه‌های خاص ارقام، اصلاحات لازم صورت پذیرد، از جمله تراکم بوته (فواصل ردیف‌ها و فواصل بوته‌ها روی ردیف‌ها)، حداکثر عمق توسعه ریشه، دوره زمانی هر یک از مراحل رشد و تاریخ کاشت. پذیرش بی قید و شرط فایل پیش فرض، ممکن است سبب ناکارآمدی خروجی مدل شود (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲).

پارامترهایی شامل اطلاعات هواشناسی و خاک که تابع زمان، مکان، تراکم کاشت و آبیاری هستند به عنوان پارامترهای مخصوص کاربر معرفی شده‌اند. تاریخ سبز شدن، مراحل فنولوژیک رشد، تراکم و میزان بذر، زمان پیری و رسیدگی فیزیولوژیک از جمله فاکتورهای مهمی هستند که کاربر باید آنها را وارد کند. تاریخ سبز شدن علاوه بر شرایط رطوبتی خاک، به عمق کاشت نیز بستگی دارد. تاریخی که در آن ۹۰ درصد بذرها سبز می‌شوند، به عنوان تاریخ سبز شدن لحاظ می‌شود (هسیائو و همکاران، ۲۰۰۹). زمان شروع پیری، نزدیک به تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک است و برای هر گونه گیاهی خاص به رژیم دمایی منطقه بستگی دارد. نرم‌افزار این قابلیت را دارد که شروع زمان پیری و رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه را با استفاده از درجه روز رشد و مطابق با داده‌های دمایی وارد شده، محاسبه کند (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲).

شاخص‌های آماری

برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در تخمین عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و رطوبت خاک از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) یا همان ضریب تغییرات، ضریب باقیمانده (CRM) (موریاس و همکاران، ۲۰۰۷) ، خطای نسبی (RE) (سینگ و همکاران، ۲۰۰۸) شاخص توافق (d) یا سازگاری (ویلموت و همکاران، ۱۹۸۲) و ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید:

$$NRMES = \frac{1}{\overline{O}} \times \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \times 100 \quad (٤)$$

$$CRM = 1 - \left(\sum_{i=1}^{n} S_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} O_i \right) \quad (٥)$$

$$RE = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{|S_i - O_i|}{O_i} \right) \times 100 \quad (٦)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(|S_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|\right)^2} \quad (٧)$$

(٨)

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 (P_i - \overline{P})^2}} \right] \quad (٩)$$

که در آن: Si مقادیر پیش‌بینی شده، Oi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات و $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

$$ARE = \frac{100}{n} * \sum_{i=1}^{n}(|Si - Oi| / Oi)$$

مقدار NRMSE عالی برای مدل‌سازی کمتر از ۱۰٪ می‌باشد NRMSE در بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به ترتیب نشانگر

وضعیت مناسب و متوسط مدل در پیش‌بینی و بیشتر از ۳۰٪ نشان دهنده عدم اطمینان از مدل می‌باشد.. آماره CRM نشانگر تمایل مدل برای بیش‌برآورد (مقادیر منفی) و یا کم‌برآورد (مقادیر مثبت) در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (ایتزینگر و همکاران، ۲۰۰٤ و سینگ و همکاران، ۲۰۰۸). ویلموت یک شاخص بی‌بعد است که دامنه تغییرات آن بین صفر و یک می‌باشد که مقدار یک بیانگر بهترین برازش می‌باشد.

نتایج و بحث

عملکرد محصول

پارامترهایی که اندازه‌گیری شده بودند مانند تراکم کشت گیاه، حداکثر عمق ریشه و تاریخ‌های مورد نظر در دوره رشد گیاه به عنوان یک ورودی ثابت در مدل وارد شدند و نیازی به واسنجی آن پارامترها نبود. پارامترهای واسنجی شده عبارت بودند از ضریب رشد و کاهش پوشش تاجی، تعداد روز تا پیری گیاه، تعداد روز تا مرحله رسیدگی محصول، بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)، ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل ($K_{c\ Tr,x}$) ، شاخص برداشت (HI)، ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل (Kc Tr,x) و تعداد روز تا پیری گیاه (Senescence). پارامترهای گیاهی واسنجی شده برای محصول گوجه فرنگی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- واسنجی پارامترهای گیاهی برای محصول گوجه فرنگی

پارامترها	سال اول	سال دوم	واحد	روش واسنجی
دمای پایه رشد	۷	۷	(°C)	پیش فرض
دمای بالا	۲۸	۲۸	(°C)	پیش فرض
ضریب رشد پوشش تاجی (CGC)	۱۰/۸	۱۰/۷	(%/day)	تنظیم شد
ضریب کاهش پوشش تاجی (CDC)	۷/۲	۹/۱	(%/day)	تنظیم شد
آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاجی	۰/۱۵	۰/۱۵	(-)	پیش فرض
آستانه پایین ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاجی	۰/۵۵	۰/۵۵	(-)	پیش فرض
آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	۰/۵	۰/۵	(-)	پیش فرض
ضریب شکل منحنی ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی گیاه	۳	۳	(-)	پیش فرض
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	۳	۳	(-)	پیش فرض
آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی	۰/۷	۰/۷	(-)	پیش فرض
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی گیاه	۳	۳	(-)	پیش فرض
زمان شروع پیری	۱۰۹	۹٤	(day)	تنظیم شد
زمان بلوغ کامل گیاه	۱۳۰	۱۱۵	(day)	تنظیم شد
بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*)	٦٤	٦٤	($g\ m^{-2}$)	تنظیم شد
ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل ($K_{cTr/x}$)	۱/۰۹	۱/۰۹	(-)	تنظیم شد
شاخص برداشت HI_o	۱۸/۲۵	۱۸/۲۵	(%)	تنظیم شد

جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار از داده‌های اندازه‌گیری شده سال ۸۵ استفاده گردید. بدون تغییر در فایل‌های گیاهی واسنجی شده‌ی نهایی، برای همه داده‌های سال ۸۵ مدل اجرا و مقادیر عملکرد حاصل از شبیه‌سازی، با مقادیر اندازه‌گیری شده براساس شاخص-های آماری مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه مقادیر عملکرد محاسبه و پیش‌بینی شده برای محصول گوجه فرنگی توسط نرم-افزار در شکل ۱، و مقادیر شاخص‌های آماری طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نرم‌افزار در جدول ٦ ارائه شده‌است. بر-اساس نتایج جدول ٦، و قرار گرفتن شاخص‌های آماری در رنج مناسب نتیجه گرفته می‌شود که واسنجی نرم‌افزار برای عملکرد محصول به طور مناسبی صورت گرفته است. مقدار NRMSE برای سال ٨٤ عملکرد محصول ۰/۵۲ درصد بدست آمد که کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد که براساس این آماره، مدل‌سازی عملکرد، ایده‌آل است. مقدار R^2 برای مرحله واسنجی معادل با ۰/۹۹ نشان می‌دهد که مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد محصول توافق و همبستگی خوبی با مقادیر واقعی (اندازه‌گیری شده) در مرحله

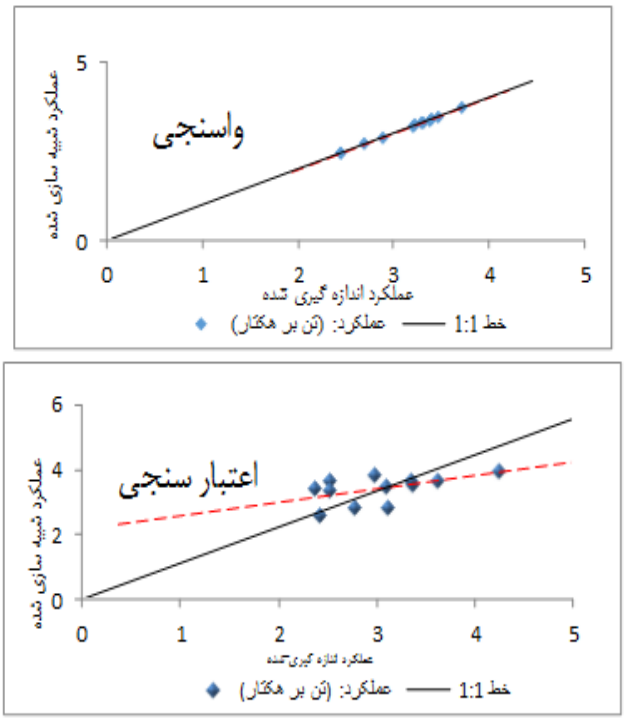
واسنجی دارد. مقدار CRM نزدیک به صفر نشان از دقت بالای نرم‌افزار در شبیه‌سازی کلیه تیمارها و همچنین نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. شاخص توافق (d) در نزدیکی یک قرار دارد که بیانگر توافق خوب بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده است.

در مرحله اعتبارسنجی برای سال ۸۵ مقدار NRMSE، ۱۹/٦٤ درصد بدست آمد که در سطح مناسبی قرار دارد. همچنین مقدار CRM نزدیک به صفر و شاخص توافق در نزدیکی یک قرار دارد. مقدار R^2 برای مرحله اعتبارسنجی نیز معادل با ۰/۲۹ بدست آمد.

با توجه به نتایج جدول ٦ و مقادیر شاخص‌ها در سال دوم مشاهده می‌شود که توانایی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در مرحله اعتبار سنجی نسبت به مرحله واسنجی ضعیف بوده و عملکرد محصول را بیشتر برآورد کرده است. که یکی از دلایل آن تاثیر فاکتور سال است. بگونه‌ای که عوامل محیطی مانند نور، میزان CO2، دما، رطوبت و غیره از سالی به سال دیگر می‌تواند تغییر کند، این عوامل در گوجه فرنگی بر تعداد گل تشکیل شده در بوته، گرده افشانی و درصد فروست تاثیر می‌گذارد (آترتون، ۱۹۹٤ و بنتون، ۱۹۹۹). تفاوت نسبتا زیاد مقدار عملکرد در دو سال متوالی و کاهش نسبتا زیاد عملکرد اندازه‌گیری شده در سال دوم به علت دیررسی محصول و عدم توانایی بسیار بالای نرم‌افزار در شبیه‌سازی دیررسی محصول و نیاز نرم‌افزار به پارامترهای بیشتر برای محاسبه عملکرد و عدم اندازه‌گیری این پارامترها نیز از دلایل افزایش میزان خطا در مرحله اعتبارسنجی و کاهش ضریب R^2 می‌باشند. مقدار ضریب R^2 بالاتر نشان می‌دهد که مقادیر مشاهده شده به خط برازش نزدیک‌تر هستند، البته ضریب R^2 به تنهایی نمی‌تواند مشخص کننده مناسب بودن مدل باشد. یک مدل خوب ممکن است مقدار R^2 پایین داشته باشد اگر سایر ضرایب آماری مقدار مناسبی داشته باشند. نتایج تحقیقات کاترجی و همکاران (۲۰۱۳) ، نیز بیانگر مقداری بیش‌برآوردی در عملکرد محصول گوجه‌فرنگی و ذرت با استفاده از نرم‌افزار آکوکراپ می‌باشد.

جدول ٦- شاخص‌های ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه

سال	NRMSE (%)	CRM (-)	d (-)	R^2 (-)
۸٤	۰/۵۲	۰/۰۰٤	۰/۹۹	۰/۹۹
۸۵	۱۹/٦٤	-۰/۱۲	۰/٦۸	۰/۲۹



شکل ۱- مقایسه عملکرد محصول اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده در مرحله واسنجی و اعتبارسنج

جدول ۷- مقایسه مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در کلیه تیمارها

واسنجی			
Re (%)	شبیه‌سازی‌شده	اندازه‌گیری‌شده	ترکیب تیمارها: قسمت‌های پوشیده شده از مالچ* فاصله ردیف (cm)*فاصله بوته (cm)
۰/۵	۲/۶۹	۲/۷۱	۴۰*۱۲۰*بدون مالچ
۰/۳	۳/۷۵	۳/۷۶	بدون مالچ*۱۲۰*۳۰
۰/۳	۳/۵۷	۳/۵۸	بدون مالچ*۴۰*۱۰۰
۱/۱	۳/۶۱	۳/۶۶	بدون مالچ*۳۰*۱۲۰
۰/۱	۲/۷۱	۲/۷۲	تمام جوی و نصف پشته*۱۲۰*۴۰
۰/۳	۳/۲۰	۳/۲۱	تمام جوی و نصف پشته*۱۲۰*۳۰
۰/۵	۳/۶۶	۳/۶۸	تمام جوی و نصف پشته*۱۰۰*۴۰
۰/۴	۳/۵۴	۳/۵۶	تمام جوی و نصف پشته*۱۰۰*۳۰
۱	۲/۹۷	۳/۰۰	تمام پشته ونصف جوی*۱۲۰*۴۰
۰/۵	۳/۸۴	۳/۸۵	تمام پشته ونصف جوی*۱۲۰*۳۰
۰/۲	۳/۷۷	۳/۷۷	تمام پشته ونصف جوی*۱۰۰*۴۰
۰/۲	۴/۱۱	۴/۱۲	تمام پشته و نصف جوی*۱۰۰*۳۰
اعتبارسنجی			
(%) Re	شبیه‌سازی‌شده	اندازه‌گیری‌شده	ترکیب تیمارها: قسمت‌های پوشیده شده از مالچ* فاصله ردیف (cm)*فاصله بوته (cm)
-۷/۵	۲/۵۹	۲/۴۱	۴۰*۱۲۰*بدون مالچ
-۴۵	۳/۶۶	۲/۵۲	بدون مالچ*۱۲۰*۳۰
-۴۵	۳/۴۳	۲/۳۷	بدون مالچ*۴۰*۱۰۰
-۴/۷	۳/۵۲	۳/۳۶	بدون مالچ*۳۰*۱۲۰
۹/۴	۲/۸۱	۳/۱۱	تمام جوی و نصف پشته*۱۲۰*۴۰
-۳۱	۳/۳۰	۲/۵۲	تمام جوی و نصف پشته*۱۲۰*۳۰
-۲۹	۳/۸۳	۲/۹۷	تمام جوی و نصف پشته*۱۰۰*۴۰
-۱۱	۳/۴۵	۳/۰۹	تمام جوی و نصف پشته*۱۰۰*۳۰
-۱/۳	۲/۸۰	۲/۷۷	تمام پشته ونصف جوی*۱۲۰*۴۰
-۱/۵	۳/۶۷	۳/۶۲	تمام پشته ونصف جوی*۱۲۰*۳۰
-۱۰	۳/۶۷	۳/۴۴	تمام پشته ونصف جوی*۱۰۰*۴۰
-۶/۶	۳/۹۵	۳/۲۲	تمام پشته و نصف جوی*۱۰۰*۳۰

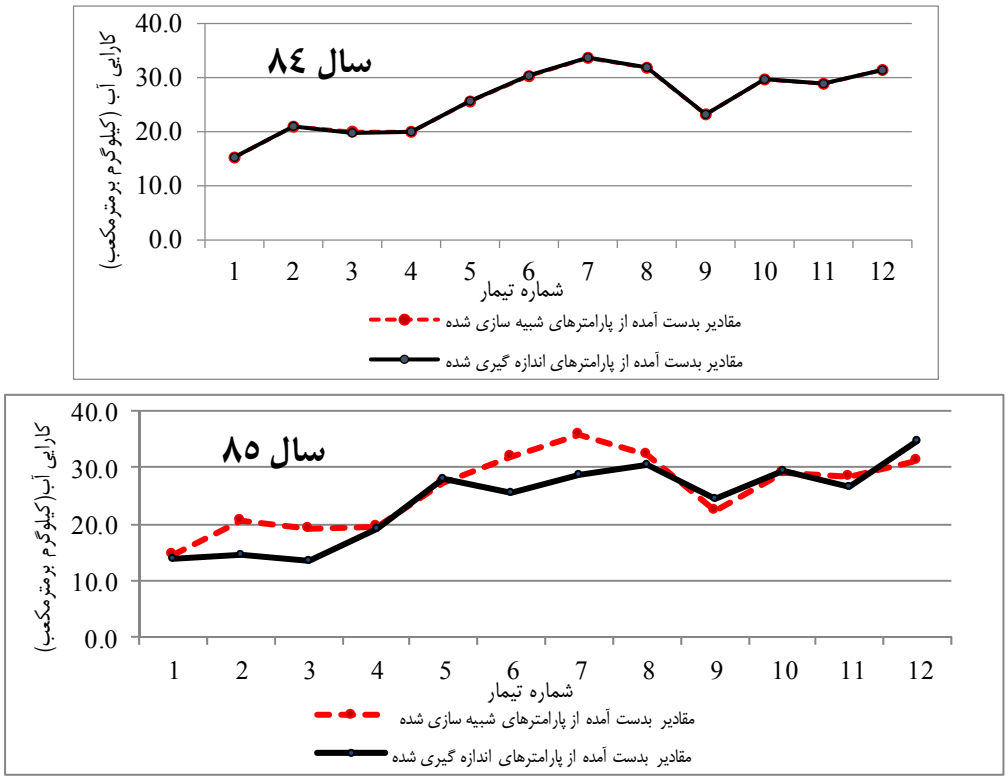
درجدول ۷ مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده طی دوسال با استفاده از شاخص Re مقایسه شده است. با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود که بیشترین خطا در مرحله واسنجی با مقدار ۱/۱ درصد مربوط به تیمار بدون مالچ با تراکم ۱۲۰*۳۰ و کمترین خطا با مقدار ۰/۱ درصد مربوط به تیمار تمام جوی و نصف پشته می‌باشد که این نشان می‌دهد واسنجی مدل بصورت مناسبی صورت گرفته است. در مرحله اعتبارسنجی بیشترین خطا از نظر قدر مطلق با مقدار ۴۵ درصد مربوط به تیمار بدون مالچ با تراکم‌های ۱۲۰*۳۰ و ۱۰۰*۴۰ و کمترین خطا با مقدار ۱/۳ درصد مربوط به تیمار تمام جوی و نصف پشته با تراکم ۱۲*۴۰ می‌باشد. مقدار خطاهای بدست آمده در سال دوم از نظر قدر مطلق خیلی بیشتر از سال اول بدست آمد و این بدلیل دیررسی محصول و کاهش عملکرد در سال دوم می‌باشد. همچنین دلیل بالا بودن مقدار خطا از نظر قدر مطلق در تیمارهای بدون مالچ در سال دوم تاثیر بیشتر عوامل جوی بر تیمارهای بدون مالچ و دیررس‌تر بودن این تیمارها نسبت به تیمارهای پوشش داده شده با مالچ و عدم توانایی بسیار بالای نرم‌افزار در شبیه‌سازی دیررسی محصول می‌باشد و نیز دلیل بالا بودن خطا در تراکم‌های ۳۰*۱۲۰ و ۴۰*۱۰۰ در بین تیمارهای بدون مالچ کاهش محصول بالای این دو تیمار نسبت به سایر تیمارها در سال دوم می‌باشد. کمترین

میزان خطا در شبیه‌سازی تیمارهای پوشش تمام پشته و نصف جوی با مالچ می‌باشد که به دلیل پوشش تمام پشته و حفظ رطوبت و دما در اطراف گیاه نسبت به سایر تیمارها زودرس بوده است. تیمارهای با پوشش تمام جوی و نصف پشته از نظر دیر-رسی بین این دو تیمار قرار دارند.

کارایی مصرف آب (WUE)

مقادیر کارایی مصرف آب بدست آمده از پارامترهای اندازه-گیری شده و شبیه‌سازی شده طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در شکل ۲ آورده شده است. همچنین نتایج ارزیابی مقادیر کارایی مصرف آب از پارامترهای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با استفاده از شاخص‌های ارزیابی برای دو سال در جدول ۸ آورده شده است. مقادیر کارایی مصرف آب در تیمارهای با پوشش مالچ به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که اختلاف مقادیر کارایی آب بدست آمده از پارامترهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی بسیار ناچیز بوده، به طوری که در جدول ۸ هم مشاهده می‌شود مقدار NRMSE، ۰/٤٦ می‌باشد که بسیار پایین بوده و در سطح ایده‌آل می‌باشد. همچنین مقدار R^2، ۰/۹۹ می‌باشد که نشان‌گر همبستگی زیاد بین داده‌ها می‌باشد. شاخص CRM نیز تقریبا ۰ بدست آمدکه نشان‌گر نزدیکی بالای مقادیر بدست آمده از پارامتر-های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. شاخص d نیز ۰/۹۹ بدست آمد که بیانگر توافق ایده‌آل مقادیر بدست آمده از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده می‌باشد.

همانطور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود مقدار NRMSE، ۱٦/۰۲ می‌باشد که بین محدوده ۱۰-۲۰ درصد یعنی سطح خوب قرار دارد. مقدار R^2 نیز، ۰/۷٦ بدست آمد که نشان‌گر همبستگی زیاد بین داده‌ها می‌باشد. شاخص CRM نیز ۰/۰۸- بدست آمدکه نشان‌گر نزدیکی بالای مقادیر بدست آمده از پارامترهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. همچنین شاخص d، ۰/۹۱ بدست آمد که بیانگر توافق خوب مقادیر بدست آمده از پارامترهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد.



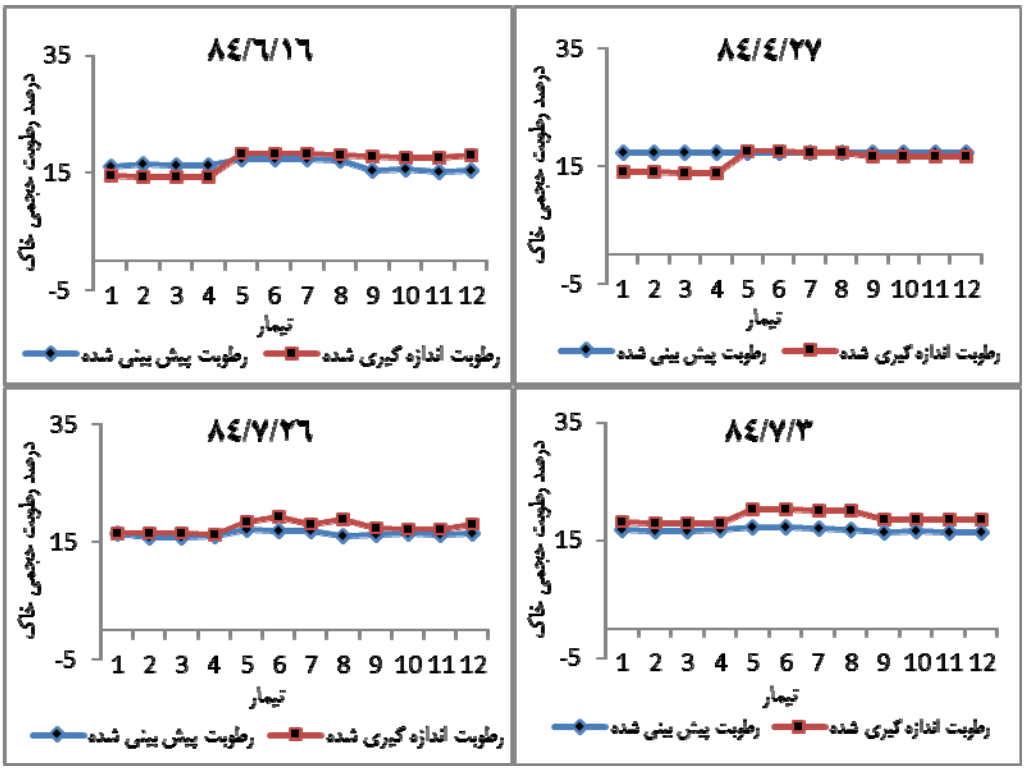
شکل ۲- مقایسه مقادیر کارایی مصرف آب بدست آمده از پارامترهای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی

جدول ۸- شاخص‌های ارزیابی مقادیر کارایی مصرف آب از پارامترهای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

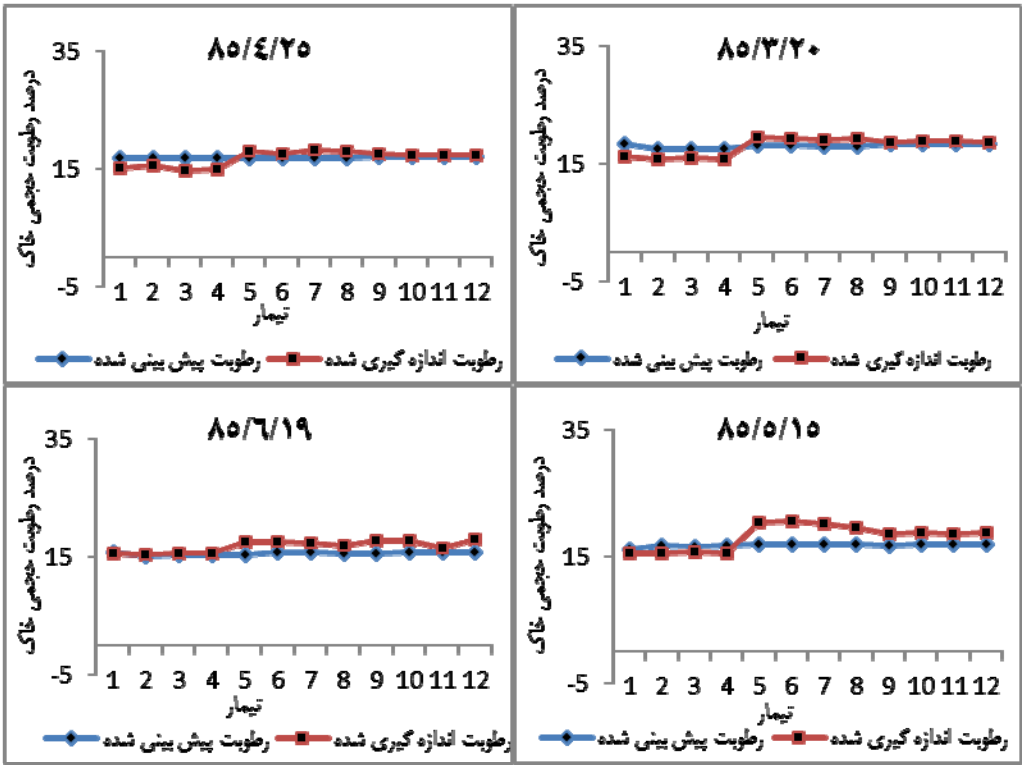
سال	NRMSE (%)	CRM (-)	d (-)		R^2 (-)
۸٤	۰/٤٦	۰/۰۰۳	۰/۹۹	۹	۰/٤٦
۸۵	۱٦/۰۲	-۰/۰۸	۰/۹۱	۷	۱٦/۰۲

رطوبت خاک

مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری‌شده میزان رطوبت خاک در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی در تاریخ‌های مختلف برای هر دو سال ۸٤ و ۸۵ به ترتیب در اشکال ۳ و ٤ برای هر ۱۲ تیمار نشان داده شده‌اند. نتایج ارزیابی مقادیر رطوبت خاک نیز از پارامترهای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با استفاده از شاخص‌های ارزیابی برای دو سال در جدول ۹ آورده شده است. با توجه به اشکال ۳ و ٤ ملاحظه می‌شود در ابتداری فصل رشد، عمده خطا در تیمارهای بدون مالچ و در اواسط و مراحل پایانی رشد مربوط به تیمارهای با پوشش مالچ می‌باشد. علت کمتر بودن مقادیر اندازه‌گیری شده در مقایسه با برآورد نرم‌افزار در ابتدای فصل رشد در تیمارهای بدون مالچ را می‌توان ناشی از خطای نمونه‌برداری با دست، اثر رطوبت نسبی بر رطوبت سطحی خاک و عدم پوشش کامل سطح زمین دانست. همچنین علت خطای اندک در اواسط و مراحل پایانی رشد در تیمارهای دارای مالچ را می‌توان ضعف نرم‌افزار در شبیه‌سازی مالچ و تاثیر آن بر رطوبت و روابط به کار رفته مربوط به مالچ دانست. به طوری که از بین تیمارهای دارای مالچ بیشترین خطا مربوط به تیمارهای ۵ تا ۸ (تیمارهای با پوشش تمام جوی و نصف پشته با مالچ) می‌باشد که نرم‌افزار تفاوتی بین پوشش تمام پشته با نصف جوی و پوشش تمام جوی با نصف پشته قائل نشده و تاثیر مالچ در معادلات مربوطه، فقط به صورت درصد زمین پوشش داده شده در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به اینکه در اغلب روابط آب و خاک، ساده‌سازی‌ها با در نظر گرفتن یک خاک متوسط صورت می‌گیرد و جنس خاک در این تحقیق لوم شنی بوده است این نکته نیز می‌تواند سبب ایجاد خطا گردد. ولی به طور خلاصه با توجه به نتایج جدول ۹ و اشکال ۳ و٤ ملاحظه می‌شود که نرم‌افزار توانسته به خوبی رطوبت خاک را شبیه‌سازی نماید. نتایج تحقیقات چن و همکاران (۲۰۱۱) ، نیز بیانگر این است که نرم‌افزار آکوکراپ نتایج دقیقی برای پیش‌بینی روند کلی آب خاک تحت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای برای محصول گوجه‌فرنگی بدست می‌دهد.



شکل ۳- مقادیر رطوبت خاک پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی (سال ۸٤)



شکل ٤- مقادیر رطوبت خاک پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی (سال ۸۵)

جدول ۹- شاخص‌های ارزیابی مقادیر رطوبت خاک بدست آمده از پارامترهای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

سال	NRMSE (%)	d (-)	CRM (-)	ARE (%)
۸٤	۱/۰۷	۰/۷۱	۰/۰۰۱	۹/۳۸
۸۵	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۰۱	۷/٦۲

نتیجه‌گیری

طبق نتایج تحقیق حاضر، نرم‌افزار آکوکراپ عملکرد گوجه-فرنگی را به خوبی شبیه‌سازی کرد. قرار گرفتن شاخص‌های آماری در رنج مناسب در طی مرحله واسنجی نشان داد که پارامتر-های گیاهی به خوبی برای نرم‌افزار واسنجی شده‌اند. نتایج اعتباریابی نرم‌افزار براساس شاخص‌های آماری، نشان داد که نرم-افزار توانایی لازم برای پیش‌بینی عملکرد در شرایط بدون تنش بر روی محصول گوجه‌فرنگی رقم پتوارلی CH در تراکم‌های مختلف و تیمارهای مختلف استفاده از مالچ را دارد. همچنین نرم-افزار آکوکراپ توانست کارایی مصرف آب را برای محصول گوجه‌فرنگی و رطوبت خاک را در تاریخ‌های مختلف به صورت مناسبی شبیه‌سازی کند. با توجه به این که خسارات ناشی از تگرگ، آفات، علف‌های هرز و بیماری‌ها، در مدل آکوکراپ لحاظ نگردیده، لذا پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی، پارامترهای ثابت گیاهی نرم‌افزار از طریق تعریف ضریب کاهش عملکرد در اثر هر یک از عوامل یاد شده، واسنجی شوند. ارزیابی نهایی در مورد مدل مثبت و قابل قبول بود لذا می‌توان در جهت مدیریتی پایدار و کاهش هزینه‌های مورد نیاز برای تحقیقات کشاورزی در آینده در منطقه ارومیه از این نرم‌افزار به عنوان ابزاری مفید سود برد.

منابع

احسانی، م. ه. خالدی. ۱۳۸۲. شناخت وارتقاء بهره‌وری آب کشاورزی به منظورتأمین امنیت آبی وغذایی کشور. یازدهمین همایش ملی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.٦۵۷-٦۷٤.

اکبری، س، م، ر. س، ن. موسوی و ع. رضایی. ۱۳۸۸. بحران آب و لزوم توجه به بهره‌وری آب در مناطق دچار خشکسالی؛ مطالعه موردی: دشت سیدان–فاروق، دومین همایش ملی بحران آب، اصفهان.

انصاری، ح. م. سالاریان، ع. تکرلی و م. بایرام. ۱۳۹۳. تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول گندم و گوجه فرنگی به کمک مدل AquaCrop. نشریه آبیاری و. زهکشی ایران. جلد۸ (۱): ۸۶–۹۵.

توکلی، ع. ع. لیاقت، و ا. علیزاده. ۱۳۹۲. بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کاشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط دیم و آبیاری محدود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱٤ (٤): ٥٦–٤١.

خورسند، ا. و. رضاوردی‌نژاد، و ع. شهیدی. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیمرخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم‌آبی. مدیریت آب و آبیاری. جلد ٤ (۱): ۱۰٤–۸۹.

زیدعلی، س. ک. خالدی. ۱۳۸۲. بررسی وضعیت بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. یازدهمین کنفرانس کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، اردیبهشت ۸۲.

داوری، م. ک. ب. قهرمان، ح. انصاری و ا. حق‌وردی. ۱۳۹٤. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۹ (۳).

نورجو، ا. ۱۳۸۹. بررسی پوشش پلی اتیلنی سیاه و آرایش کاشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب آبیاری گوجه فرنگی. گزارش نهایی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجانغربی.

Atherton, I.G. 1994. The tomato crop (A Scientific basis for improvement). Chapman and Hall. London. Glasgow. Weinheim. New York. Tokyo.658p.

Benton Jones, J. 1999. Tomato plant culture (In the Field, greenhouse, and home garden). CRC press. Boca Raton London, New York. Washington D.C. 199p.

Chen, G., M. Burger, W. Wallender, and W. Horwth. 2011. Evaluation of the AquaCrop moded for subsurface drip and furrow irrigated processing tomatoes. Fundamental for life: Soil, Crop and Environmental Sciences. ASA. CSSA. SSSA International annual meetings OCT 16-19, 2011, San Antonio, TX. 266-6.

Darko, O., R. Shouqi, Y. Haofang, Y. Liu. And A. Abbey. 2016. Calibration and validation of Aqua Crop for deficit and full irrigation of tomato. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 9, 3(2016).

Dean, M. C and E. M. James. Use of plastic mulch and row covers in vegetable production. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University

Doorenbos, J., A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, Rome, Italy.

Donatelli, M., C. Stockle, L. Nelson and Francaviglia, R. 1999. Evaluating cropping systems in lowland areas of Italy using the Crop Syst and GIS models. Proceedings Seventh ICCTA conference, Firenze, Italy, 16-17 November, 114-121.

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

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

Katerji, N., P. Campi, M. Mastrorilli. 2013. Productivity, evapotranspiration and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by Aqua Crop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. Agricultural Water Management. 130(2013), 14-26.

Moriasi, D.N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(3): 885-900.

Ritchie, J. T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research 8 (5): 12004-1213

Singh A. K., R. Tripathy and U. K. Chopra. 2008. Evaluation of CERES Wheat and Crop Syst models for water-Nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural Water Management, 95:776–786.

Steduto, P., E. Fereres, T. Hsiao and D. Raes. 2007. Yield Response to Water: The FAO revision framework and the crop-water productivity model AquaCrop.

Tavakoli, A.R., M. Mahdavi Moghadam and A. R. Sepaskhah. 2015. Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and rain fed condition in Iran. Agricultural Water Management. 161: 136-146.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society (SAUO). 63: 1309-1313.

Investigation of polyethylene mulch on improvement of tomato water use efficiency using aquacrop model

R. Eskandaripour[1], A. Khorsand[2], V. Rezaverdinejad[3], K. Zeinalzadeh[4], A. Norjoo[5]

Received: 2017-4-25 Accepted: 2017-10-23

Abstract

In this study, the Aquacrop model was evaluated to predict the crop yield and the water use efficiency of tomato in climatic conditions Kahriz region, and use mulch cover was modeling. The research was carried out at split plot factorial experiment based on randomized design. The factors of between-row spacing (100 and 120cm), in-row spacing (30 and 40cm) and black plastic were studied. The treatment of black plastic were: full ridge and half furrow were covered by mulch; full furrow and half ridge were covered by mulch and control (no mulch). Every plot was irrigated separately. The model was calibrated by the use of first year's data, and as a result on the base of R^2 (0.99) and NRMSE (0.19). Efficiency parameters, it is obvious that Aquacrop appropriately simulates the crop yield, WUE and soil water content of the root zone for tomato under different planting densities and three types of mulch.

Keywords: Kahriz of Urmia, planting density, polyethylene mulch, soil water content

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Urmia University, Urmia, Iran
2- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
3- Associated Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
5- Researcher, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Urmia, Iran