نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۲۴۰-۲۳۰

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 230-240

ارزیابی مدل AquaCrop تحت مدیریت کم‌آبیاری کلون‌های جدید سیب‌زمینی در همدان

مهدی جوزی[1*]، زهرا قربانی[2]، علی قدمی فیروزآبادی[3]، نبی‌الله سپهری[4]، حمید زارع ابیانه[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱۴

چکیده

در این پژوهش عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب پنج کلون مختلف سیب‌زمینی تحت شرایط کم‌آبیاری در سطوح ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی با مدل AquaCrop ارزیابی شد. آزمایشات مزرعه‌ای در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال در ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان اجرا گردید. پس از آنالیز حساسیت، از نتایج آزمایشات سال اول برای واسنجی و سال دوم برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. نتایج نشان داد این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سیب‌زمینی به‌طور متوسط در بین همه تیمارهای آبیاری و کلون‌ها به‌ترتیب دارای خطای ۱۰/۹۵ و ۴۷/۳۴ درصد بود. لذا این مدل دقت کمتری در برآورد بهره‌وری مصرف آب نسبت به برآورد مناسب عملکرد سیب‌زمینی داشت. تحت شرایط کمبود آب در بین کلون‌های مورد بررسی، کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ دارای بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب به‌مقدار ۱۶/۳۹ تن بر هکتار و ۳/۴۱ کیلوگرم بر متر مکعب بود. لذا پیشنهاد می‌گردد که این کلون و آبیاری به‌میزان ۸۰ درصد نیاز آبی توسط کشاورزان منطقه مورد استفاده قرار گیرد تا ۲۰ درصد صرفه‌جویی آب داشته و بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب حاصل گردد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، شبیه‌سازی رشد سیب‌زمینی، عملکرد سیب‌زمینی، نیاز آبی

مقدمه

کمبود منابع آب از محدودیت‌های تولیدات کشاورزی است و کم‌آبیاری یکی از راه‌کارهای مدیریت مصرف آب در کشاورزی است که در آن آبی کمتر از مقدار نیاز در طی دوره رشد به گیاه داده می‌شود. سیب‌زمینی گیاهی حساس به کمبود رطوبت خاک می‌باشد و تنش آبی، اثرات نامطلوبی بر رشد و عملکرد آن دارد (ایزدی و همکاران، ۱۳۹۷). مدیریت آبیاری در دست‌یابی به عملکرد بالا و با کیفیت محصولات کشاورزی حائز اهمیت است و مدل‌های گیاهی ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه به‌عنوان ابزاری توانمند در پیش‌بینی عملکرد محصول کاربرد دارند.

آکوموگا و همکاران با ارزیابی مدلAquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت دیم تحت سطوح مختلف نیتروژن در مقایسه با مقادیر مشاهداتی در نیجریه نشان دادند آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، شاخص توافق[6] (d) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده[7] (NRMSE) برای عملکرد به‌ترتیب ۰/۸۲ تا ۰/۹۹، ۰/۶ تا ۰/۸۸ و ۸ تا ۱۷ درصد بود (Akumaga et al., 2017). در تحقیقی مشابه مالیک و همکاران توانایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی مقادیر زیست‌توده و عملکرد ریشه چغندرقند تحت مدیریت‌های بهینه مختلف آبیاری و زراعی در منطقه نیمه‌خشک پاکستان را موفق و قابل قبول گزارش نمودند (Malik et al., 2017). مونتایا و همکاران با شبیه‌سازی رشد گیاه سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف آبیاری در جنوب شرق اسپانیا با مدل AquaCrop نشان دادند ضریب تعیین و شاخص توافق مدل بالای ۰/۹ است (Montoya et al., 2016). پاریدیس و همکاران اثرات تنش آبی بر عملکرد گیاه ذرت را با اعمال دو رژیم کم‌آبیاری و آبیاری کامل در منطقه ریباتجو پرتغال به‌کمک

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۴- کارشناس ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۵- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jovzimehdi11@yahoo.com)

6- Willmott's index of agreement
7- Root mean square error

مدل AquaCrop بررسی نمودند. نتایج کلی آنان قابلیت بالای مدل AquaCrop برای برآورد زیست‌توده و عملکرد ذرت در شرایط کم‌آبیاری را نشان داد (Paredes et al., 2014). در تحقیقی دیگر کومار و همکاران در هند از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب سه رقم مقاوم به شوری و یک رقم غیرمقاوم به شوری گندم با سه سطح آب شور ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و یک سطح غیر شور ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر طی دو سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ بهره گرفتند. مقادیر بازده مدل (E)، شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) برای عملکرد دانه ۰/۹۴، ۰/۹۶، ۰/۸۵ و برای زیست‌توده ۰/۷، ۰/۹۵، ۰/۹۵ به‌دست آمد. در مجموع نتایج مدل در برآورد عملکرد دانه نسبت به زیست‌توده و بهره‌وری آب مناسب‌تر بود (Kumar et al., 2014). نتایج تحقیقات تودورویچ و همکاران برای مقایسه مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد گیاه آفتاب‌گردان در جنوب ایتالیا نشان داد مدل AquaCrop به‌دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کمتر ترجیح دارد (Todorovic et al., 2009). ضیایی و همکاران (۱۳۹۳) با مقایسه عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize در شبیه‌سازی رفتار گیاه ذرت نشان دادند که مدل AquaCrop در برآورد رطوبت خاک و عملکرد محصول نسبت به مدل CERES-Maize مناسب‌تر است. به‌طوری‌که شاخص توافق (d) برای مدل AquaCrop در برآورد رطوبت بین ۸۵ تا ۹۴ درصد و برای مدل CERES-Maize بین ۵۸ تا ۶۴ درصد است. جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) جهت شبیه‌سازی عملکرد محصول برای مدل AquaCrop بین ۲۰ تا ۴۰ درصد و برای مدل CERES-Maize بین ۲۰ تا ۸۰ درصد بود. در پژوهشی دیگر، مدل AquaCrop برای برآورد عملکرد دانه و زیتوده گندم زمستانه تحت شرایط کم‌آبیاری در چین مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) که ۰/۵۸ و ۰/۸۷ تن در هکتار برای عملکرد دانه و زیتوده به‌دست آمده بود این مدل به‌عنوان ابزاری معتبر جهت مدیریت آبیاری گندم پیشنهاد شد (Iqbal et al., 2014). جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده در ارزیابی مدل AquaCrop برای محصول جو تحت شرایط کم‌آبیاری و کشت دیم در ایران برای شبیه‌سازی مولفه‌های درصد پوشش سبز، رطوبت خاک و عملکرد به‌ترتیب ۸/۷، ۱۲/۴ و ۹/۲ درصد بدست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای مدل بود (Tavakoli et al., 2015). توانمندی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد و زیتوده ارقام مختلف گندم زمستانه تحت تنش آبی نشان داد جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد دانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب در محدوده ۰/۵ تا ۲ و ۲ تا ۹ درصد و برای زیتوده ۲ تا ۵ و ۳ تا ۶ درصد محاسبه گردید (امیری و همکاران، ۱۳۹۴). محمدی و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور اعتبارسنجی مدل AquaCrop در منطقه بیرجند، آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خرد شده به‌صورت فاکتوریل انجام دادند. شوری آب آبیاری در سه سطح ۴/۱، ۵/۴، ۶/۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان کرت‌های اصلی، دو رقم گندم قدس و روشن و چهار سطح ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان کرت‌های فرعی اجرا گردید. عملکرد محصول، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب برای دو رقم گندم در شرایط شوری و کم‌آبی به‌خوبی شبیه‌سازی شد. به‌طوری که آماره‌های RMSE، ME، d، CRM و R^2 در شبیه‌سازی عملکرد رقم روشن به‌ترتیب ۷/۰۹، ۱۵/۶۱، ۰/۹۷، ۰/۰۰۱ و ۰/۹ و رقم قدس ۸/۱۶، ۱۷/۴۶، ۰/۹۸، ۰/۰۰۴- و ۰/۸۷ به‌دست آمد. در پژوهش دیگری، نتایج ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد زعفران حاکی از توانایی این مدل در پیش‌بینی رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، عملکرد و زیتوده تحت سطوح مختلف آبیاری بود. جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای هر کدام از مولفه‌های فوق به‌ترتیب ۱۴، ۲۷، ۱۱ و ۲۵ درصد محاسبه شد (Mirsafi et al., 2016). واسنجی مدل AquaCrop روی دو متغیر ضریب بهره‌وری نرمال شده و درجه روز رشد تا رسیدن محصول جو در منطقه پاکدشت ورامین، با سه تقویم زراعی کاشت زودهنگام، به‌موقع و دیرهنگام انجام شد. نتایج نشان داد مدل با ضریب تبیین ۰/۹۹ و جذر میانگین مربعات خطای ۰/۵۹ تن در هکتار تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد (کریمی اورگانی و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه مونتایا و همکاران رشد و توسعه محصول سیب‌زمینی مورد آبیاری با سیستم سنترپیوت براساس آزمایشات مزرعه‌ای سال‌های ۲۰۱۱ برای کالیبراسیون و ۲۰۱۲ برای اعتبارسنجی با مدل Aquacrop در منطقه نیمه‌خشک جنوب شرقی اسپانیا ارزیابی شد. نتایج مدل و داده‌های مشاهداتی سیب‌زمینی با چهار تیمار ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی نشان داد نیاز آبی ۸۰ و ۶۰ درصد در استفاده از آب مؤثر بود و مدل Aquacrop برای شبیه‌سازی رشد و توسعه محصول در شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه مناسب بود (Montoya et al., 2016).

با توجه به استراتژی کشت محصول سیب‌زمینی در کشور و تمایل به تولید و صرفه اقتصادی آن در منطقه همدان موجب طرح‌ریزی این مطالعه در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آن در سطوح متفاوت نیاز آبی به‌واسطه نیاز آبی بالا شد. مدل AquaCrop ابزاری توانمند برای شبیه‌سازی رشد گیاه در شرایط متفاوت مدیریت آبی است که دقت لازم را برای مدیریت مناسب آبیاری دارد. سابقه تحقیق نشان داد استفاده از این مدل به‌صورت هم‌زمان برای چندین رقم از یک محصول در چندین سطح نیاز آبی صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رشد و عملکرد دو ساله ارقام مختلف گیاه سیب‌زمینی تحت سطوح متفاوت نیاز آبی در منطقه همدان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اکباتان همدان که در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۷۳۰ متری از سطح دریا واقع شده به‌مدت ۲ سال زراعی انجام یافت. برای ارزیابی مدل AquaCrop از اطلاعات طرح کم‌آبیاری قطره‌ای – نواری[1]، در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ سطح نیاز آبی و ۵ کلون سیب‌زمینی در سه تکرار استفاده شد (قدمی فیروزآبادی و پرویزی، ۱۳۸۹). آبیاری گیاه سیب‌زمینی به‌عنوان عامل اصلی در ۶ سطح ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عامل فرعی ۵ کلون سیب‌زمینی شامل ۱–۳۹۷۰۰۹۷، ۲–۳۹۷۰۰۸، ۹–۳۹۷۰۰۷، ۱۳–۳۹۷۰۰۱۵ و رقم سانته (شاهد) بود. نیاز آبی از رابطه پنمن مانتیث محاسبه و آب مورد نیاز با اعمال راندمان آبیاری ۹۰ درصد به‌دست آمد. هر کرت فرعی شامل سه خط کشت ۱۰ متری با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود که در اواخر اردیبهشت کشت و در ۲ مهرماه سال اول و ۲۴ مهرماه سال دوم برداشت شدند. ازت مورد نیاز گیاه به‌صورت مایع با سیستم وانتوری به‌همراه آبیاری به‌میزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره ۴۶ درصد طی سه مرحله زمان کاشت، زمان سبزشدن بوته‌ها از خاک و زمان پوشش کامل مزرعه توزیع گردید. سیستم آبیاری بر روی پشته‌ها و در کنار ردیف‌های کاشت با مشخصات فنی ۴۵۰ لیتر در ساعت آبدهی به‌ازای ۱۰۰ متر طول، فاصله خروجی‌ها ۳۰ سانتی‌متر، ضخامت نوار ۰/۱۷۵ میلی‌متر و قطر داخلی ۱۶/۵ میلی‌متر جانمایی گردید. کیفیت آب آبیاری براساس هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) آب آبیاری در سال اول و دوم ۸۲۰ و ۷۸۰ میکرو موس بر سانتی‌متر و ۱/۳ بود که در گروه C3S1 نمودار ویلکاکس بود. پی‌اچ آب آبیاری در سال اول و دوم به‌ترتیب ۷/۳ و ۷/۵ اندازه‌گیری شد.

از مدل AquaCrop که در سال ۲۰۰۹ ارائه شده و پوشش وسیعی از محصولات باغی و زراعی را شامل می‌شود، برای تحلیل نتایج استفاده شد (Araya et al., 2010). مدل AquaCrop از اطلاعات اقلیمی، گیاهی، مدیریتی و خاک بهره می‌گیرد. برخی پارامترها به‌عنوان پارامترهای ثابت خاص گیاه است که از مقادیر پیش فرض مدل استفاده شد و با داده‌های گیاهی فاقد محدودیت رشد واسنجی گردیدند. در همین راستا اطلاعات اقلیمی مورد نیاز نظیر دمای هوای حداکثر و حداقل روزانه برای محاسبه درجه روز رشد[2] (GDD) و مقادیر روزانه بارندگی فصل رشد از ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات اخذ و به مدل اعمال شد. غلظت CO_2 اتمسفر، براساس مقادیر موجود در بانک اطلاعاتی مدل برای سال‌های ۱۹۰۲ تا ۲۰۹۹ از رصدخانه‌ی Mauna Loa هاوایی محاسبه شد. تعدیل در پارامترهای گیاهی برای شرایط تنش آبی از طریق حساسیت‌سنجی مدل برای پارامترهای با درجه حساسیت متوسط و بالا صورت گرفت. حساسیت‌سنجی با اعمال ٪۲۵+ و ٪ ۲۵- تغییرات بر داده‌های ورودی، براساس رابطه ۱ در سه گروه داده‌های با حساسیت بالا (Sc>۱۵٪)، حساسیت متوسط (۱۵٪>Sc>۲٪) و حساسیت پایین (SC<۲٪) انجام شد (Geerts et al., 2009).

$$Sc = \left|\frac{Pm - Pb}{Pb}\right| * 100 \qquad (۱)$$

که در آن Sc ضریب حساسیت (درصد)، Pm و Pb به‌ترتیب داده (های) اولیه با ۲۵ درصد تغییر و فاقد تغییر می‌باشد.

مدل AquaCrop عملکرد زیتوده روزانه (بیولوژیک[3]) گیاهی را با محاسبه تعرق روزانه (Tr) و بهره‌وری آب در قالب رابطه ۲ شبیه‌سازی می‌کند.

$$\begin{cases} T_r = (K_s \times K_{cTr}) ET_o \\ B = WP^* \times \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{T_r}{ET_o}\right)_i \end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن Tr و ET_o تعرق و تبخیر تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر در روز، K_s و K_{cTr} ضریب تنش آبی و ضریب تعرق گیاهی، B عملکرد زیتوده بر حسب کیلوگرم بر متر مربع، WP^* بهره‌وری آب نرمال شده توسط تبخیر تعرق گیاه مرجع و غلظت دی‌اکسیدکربن بر حسب کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد.

از داده‌های سال اول برای واسنجی و از داده‌های سال دوم برای صحت‌سنجی مدل به تفکیک تمامی تیمارهای نیاز آبی و کلون‌های سیب‌زمینی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی در قالب آماره‌های جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده[4] (NRMSE) براساس اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی از مدل با مقادیر مشاهداتی (رابطه ۳)، ضریب باقی‌مانده[5] (CRM) برای تعیین بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی مدل (رابطه ۴) استفاده گردید. از شاخص سازگاری (d) برای بیان درجه نزدیکی نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی (رابطه ۵) و ضریب تبیین[6] (R^2) برای بیان همبستگی میان داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی (رابطه ۶) نیز در ارزیابی عملکرد مدل استفاده شد.

$$NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{n}\right]^{1/2} / \overline{Q} \qquad (۳)$$

1- Tape
2- Growing Degree Days

3- Biomass
4- Normalized root mean square error
5- Coefficient of residual mass
6- Pearson correlation coefficient

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \quad (۴)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(|P_i - \overline{Q}| + |Q_i - \overline{Q}| \right)^2} \quad (۵)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Pi - \overline{Q} \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(Qi - \overline{Q} \right)^2} \quad (۶)$$

در روابط فوق P_i مقادیر متغیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر متغیر مشاهداتی، n تعداد داده‌ها، $\overline{Q}$ مقدار متوسط متغیر مشاهداتی می‌باشد. مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد نشان دهنده دقیق بودن مدل‌سازی می‌باشد و برای بازه‌های ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ درصد به‌ترتیب نشان‌دهنده وضعیت مناسب و وضعیت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل در شبیه‌سازی می‌باشد. مقدار مثبت و منفی آماره CRM به‌ترتیب نشانه بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی مدل است.

آماره‌های d و R^2 شرحی از وضعیت برازش داده‌ها می‌باشند که نزدیکی آن به یک نشانه برازش مناسب مدل است (Jamieson et al., 1991; Moriasi et al., 2007). شاخص سازگاری توسط ویلموت جهت اندازه‌گیری درجه نزدیک بودن داده‌های تخمینی به داده‌های مشاهداتی پیشنهاد شد (Willmott, 1982). محدوده این شاخص از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که هر چه مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد مدل کاراتر است و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌تر هستند، در حالت ایده‌آل این شاخص برابر ۱ است و معمولاً مقادیر بزرگتر از ۰/۵ در شبیه‌سازی قابل‌قبول تلقی می‌شود (Moriasi et al., 2007).

نتایج و بحث

مقادیر حجم و عمق آب آبیاری در ۶ سطح نیاز آبی برای سال اول و دوم کشت در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- حجم (و عمق) آب آبیاری در هر یک از تیمارهای آبیاری

نیاز آبیاری	۵۰ ٪		۶۰ ٪		۷۰٪		۸۰ ٪		۹۰ ٪		۱۰۰ ٪	
	m^3ha^{-1}	mm	m^3ha^{-1}	mm	m^3ha^{-1}	mm	m^3ha^{-1}	mm	m^3ha^{-1}	mm	m^3ha^{-1}	mm
سال اول	۳۹۶۱	۳۹۶/۱	۴۵۸۰	۴۵۸	۵۱۹۹	۵۱۹/۹	۵۸۱۹	۵۸۱/۹	۶۴۳۸	۶۴۳/۸	۷۵۰۷	۷۰۵/۷
سال دوم	۴۱۱۸	۴۱۱/۸	۴۶۴۵	۴۶۴/۵	۵۱۷۳	۵۱۷/۳	۵۷۰۰	۵۷۰	۶۲۲۸	۶۲۲/۸	۶۷۵۵	۶۷۵/۵
میانگین	۴۰۳۹/۵	۴۰۳/۹۵	۴۶۱۲/۵	۴۶۱/۲۵	۵۱۸۶	۵۱۸/۶	۵۷۵۹/۵	۵۷۵/۹۵	۶۳۳۳	۶۳۳/۳	۷۱۳۱	۷۱۳/۱

مطابق جدول ۱ عمق آب مصرفی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال اول ۷۰۵/۷ میلی‌متر و در سال دوم ۶۷۵/۵ میلی‌متر و کمترین عمق آب مصرفی در سال اول ۳۹۶/۱ میلی‌متر و در سال دوم ۴۱۱/۸ میلی‌متر در تیمار ۵۰ درصد بود. به‌عبارتی دیگر بیشترین حجم آب مصرفی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال اول و دوم به‌ترتیب ۷۵۰۷ و ۶۷۵۵ متر مکعب در هکتار و کمترین آن در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی بود که در سال اول ۳۹۶۱ و در سال دوم ۴۱۱۸ متر مکعب در هکتار اندازه‌گیری شد.

درصد حساسیت مدل AquaCrop به تمامی پارامترهای گیاهی نظیر ضریب رشد کانوپی (CGC)، شاخص برداشت مرجع (HI_0)، زمان رسیدن به حداکثر پوشش، ضریب تعرق گیاهی (K_{cTr}) و بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) در حد متوسط تا بالا بود. پارامترهای گیاهی عمدتا بر میزان تعرق، سطح فتوسنتزی و بهره‌وری آب تاثیر دارند. حساسیت بالای آن‌ها ناشی از تاثیرگذاری در عملکرد محصول است که بایستی دقت لازم در واسنجی یا اندازه‌گیری آن‌ها رعایت گردد. مقادیر مورد واسنجی با سعی و خطا به‌گونه‌ای تعیین شدند که نتایج شبیه‌سازی، کمترین خطا و بیشترین تطابق را با مقادیر اندازه‌گیری داشته باشند. نتایج تحقیقات حسینی و همکاران (۱۳۹۵)، ذبیحی و همکاران (۱۳۹۴)، محمدی و همکاران (۱۳۹۴) و گیرتز و همکاران بیان‌گر حساسیت مدل آکواکراپ به پارامترهای گیاهی در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و آبیاری کامل گیاه و لزوم واسنجی مدل به‌منظور کاهش خطای شبیه‌سازی است (Geerts et al., 2009). در مقابل، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای خاک نظیر رطوبت در ظرفیت زراعی، پژمردگی دائم و رطوبت اشباع در حد حساسیت کم بود. مدل نسبت به پارامترهای اقلیمی مانند دمای ماکزیمم، بارندگی و ضرایب تنش آبی برای توسعه پوشش گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و پیری زودرس دارای حساسیت کم و یا صفر (بدون حساسیت) بود.

پس از تحلیل حساسیت، واسنجی مدل با داده‌های مشاهداتی (مزرعه‌ای) انجام شد و نتایج آن به‌عنوان نمونه برای رقم سانته در شرایط عدم محدودیت آب در جدول ۲ آمده است. رقم سانته به‌واسطه عملکرد خوب و سازگاری با اقلیم همدان از استقبال خوبی در بین کشاورزان برخوردار است.

جدول ۲- واسنجی پارامترهای گیاهی مدل برای محصول سیب‌زمینی رقم سانته

پارامتر	مقدار	روش تهیه
دمای پایه رشد (°C) Base temperature	۲	پیش‌فرض
دمای بالا (°C) Upper temperature	۲۶	پیش‌فرض
پوشش کانوپی اولیه (%) Initial canopy cover	۱	تخمین
تراکم کشت (بوته در هکتار) Planet density	۶۶۶۶۷	اندازه‌گیری
ضریب رشد کانوپی (CGC) (%day^{-1}) Canopy growth coefficient	۳۲	واسنجی
ضریب کاهش کانوپی (CDC) (%day^{-1}) Canopy decline coefficient	۱/۹	واسنجی
حداکثر پوشش گیاهی (%) Maximum canopy cover	۹۲٪	واسنجی
زمان شروع جوانه‌زنی (day) Sowing to emergence time	۱۶	اندازه‌گیری
زمان رسیدن به حداکثر پوشش گیاهی (day) Maximum canopy time	۳۸	اندازه‌گیری
زمان شروع دوره کاهش (day) Canopy decline time	۹۰	اندازه‌گیری
زمان برداشت و رسیدگی فیزیولوژیکی (day) Sowing to senescence time	۱۱۰	اندازه‌گیری
زمان تشکیل غده (day) Sowing to maturity time	۴۷	واسنجی
ماکزیمم عمق ریشه (m) Maximum root depth	۱	واسنجی
ضریب تعرق گیاهی (Kc_{Tr}) Crop coefficient for transpiration	۰/۸۶	واسنجی
بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)(gm^{-2}) Normalized water productivity	۱۸/۶	واسنجی
شاخص برداشت مرجع (%) (HI_0) Reference harvest index	۸۰	واسنجی
آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای توسعه گیاه (Pupper) Upper leaf growth threshold	۰/۴۸	واسنجی
آستانه پایین ضریب تنش آبی خاک برای توسعه گیاه (Plower) Lower leaf growth threshold	۰/۷۸	واسنجی
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای توسعه گیاه Leaf growth threshold	۳	پیش‌فرض
آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها (Pupper) Upper stomata conductance threshold	۰/۶۰	پیش‌فرض
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها Stomata conductance threshold	۳	پیش‌فرض
آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای پیری کانوپی (Pupper) Upper senescence stress coefficient threshold	۰/۶۸	واسنجی
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای پیری کانوپی Senescence stress coefficient	۳	پیش‌فرض

مطابق نتایج جدول ۲ تعدادی از پارامترها به‌صورت پیش فرض از بانک اطلاعاتی مدل انتخاب و مقادیر سایر پارامترها حاصل اندازه‌گیری و واسنجی مدل می‌باشند. پارامترهای واسنجی شده و اندازه‌گیری شده عمدتا در دسته پارامترهای با حساسیت متوسط و بالا و با دقت بیشتری انتخاب شدند تا خطای شبیه‌سازی مدل حداقل گردد. به‌عبارت کلی تقریبا تمامی پارامترهای مورد اندازه‌گیری و یا واسنجی در جدول ۲ در گروه پارامترهای گیاهی قرار دارند که مقادیر آن‌ها برای اعمال به مدل نسبت به مقادیر پیش‌فرض در بانک اطلاعاتی مدل تعدیل یافتند. در مقابل پارامترهایی که دارای حساسیت کم و یا فاقد حساسیت (صفر) بودند نیازمند تعدیل نبوده و از مقادیر پیش‌فرض برای شبیه‌سازی استفاده شد. در همین راستا دستورالعمل مدل AquaCrop، مقدار بهره‌وری آب نرمال‌شده را برای سیب‌زمینی در بازه ۲۰–۱۸ گرم بر متر مربع و دامنه شاخص برداشت مرجع را ۸۰ – ۷۰ درصد پیشنهاد داده است. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مقدار بهره‌وری آب نرمال شده ۱۸/۶ گرم بر متر مربع و شاخص برداشت ۸۰ درصد به‌دست آمد. به‌همین ترتیب مقادیر پارامترهای حداکثر پوشش گیاهی، ضریب رشد سایه‌انداز، ضریب کاهش سایه‌انداز، آستانه بالا و پایین تنش آبی خاک برای توسعه گیاه به‌ترتیب ۹۲ درصد، ۳۲ درصد بر روز، ۱/۹ درصد بر روز، ۰/۴۸ و ۰/۷۸ واسنجی گردید. واسنجی پارامترها این امکان را فراهم می‌سازد تا مدل در شرایط متفاوت اقلیمی و زراعی از کارآیی بالایی برخوردار باشد و عملکرد مدل با عملکرد مزرعه هم‌خوانی داشته باشد.

نتایج پارامترهای آماری مربوط به شبیه‌سازی عملکرد ماده خشک (B) و بهره‌وری مصرف آب با مدل Aquacrop در جدول ۳ ارائه شده است. این جدول براساس شاخص‌های آماری حاصل از برازش معادله با عرض از مبداء صفر بر جفت داده‌های پیش‌بینی و اندازه‌گیری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی تنظیم شده است.

با توجه به نتایج جدول ۳ میانگین جذر مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد ماده خشک طی مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب ۳/۰۸ و ۹/۳۸ درصد به‌دست آمد. از آنجایی‌که مقدار آماره فوق بایستی کمتر از ۱۰ درصد باشد بنابراین شبیه‌سازی ماده خشک سیب‌زمینی به‌خوبی انجام گرفته است که با نتایج مونتایا و همکاران و ایزدی و همکاران (۱۳۹۷) برای محصول سیب‌زمینی مطابقت دارد (Montoya et al., 2016).

جدول ۳- شاخص‌های مختلف آماری عملکرد (B) و بهره‌وری مصرف آب (WP) در مرحله واسنجی مدل

مرحله	کلون	NRMSE (%)		CRM (-)		d (-)		ME (-)		E (-)		R^2 (-)	
		B	WP	B	WP	B	WP	B	WP	B	WP	B	WP
واسنجی	۱*	۴/۱۲	۳۱/۷۵	-۰/۰۲	-۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۸۳
	۲	۳/۶۹	۱۱/۸۳	۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹	۰/۵۵	۰/۹۹	۰/۵۵	۰/۹۹	۰/۸۷
	۳	۰/۹۳	۱۹/۱۰	-۰/۰۰	-۰/۱۲	۱	۰/۷۵	۰/۱۶	۰/۷۱	۱	۰/۷۱	۰/۹۹	۰/۶۵
	۴	۰/۳۹	۱۴/۲۵	۰/۰۰	-۰/۱۰	۱	۰/۸۲	۰/۱۱	۰/۶۶	۱	۰/۶۶	۰/۹۹	۰/۶۸
	۵	۶/۲۹	۲۳/۵۸	۰/۰۲	-۰/۲۱	۰/۹۹	۰/۷۹	۱/۲۶	۰/۶۰	۰/۹۴	۰/۶۰	۰/۹۴	۰/۷۰
	میانگین	۳/۰۸	۲۰/۱۰	۰/۰۰	-۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۷۵
صحت‌سنجی	۱	۱۲/۴۲	۶۲/۱۵	-۰/۰۹	-۰/۵۸	۰/۹۷	۰/۵۱	۱/۶۷	۱/۰۵	۰/۹۰	-۵/۹۱	۰/۸۸	۰/۷۸
	۲	۶/۱۲	۳۳/۷۱	-۰/۰۴	-۰/۳۱	۰/۹۹	۰/۷۴	۱/۵۸	۱/۱۹	۰/۹۷	-۰/۵۳	۰/۹۷	۰/۸۱
	۳	۱۰/۵۵	۴۵/۱۲	-۰/۰۷	-۰/۴۲	۰/۹۶	۰/۴۱	۱/۹۷	۱/۲۷	۰/۸۸	-۱۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۵۸
	۴	۷/۱۹	۳۹/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۳۷	۰/۹۸	۰/۴۰	۱/۸۷	۱/۳۲	۰/۹۳	-۶/۱۹	۰/۹۱	۰/۴۹
	۵	۱۰/۶۲	۵۴/۸۰	-۰/۰۸	-۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۵۲	۱/۳۲	۱/۰۳	۰/۸۴	-۴/۷۵	۰/۸۳	۰/۶۲
	میانگین	۹/۳۸	۴۶/۹۶	-۰/۰۷	-۰/۰۴	۰/۹۷	۰/۵۲	۱/۶۸	۱/۱۷	۰/۹۰	-۵/۶۳	۰/۸۹	۰/۶۶

*:کلون ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب کلون‌های شماره ۱-۳۹۷۰۰۹۷، ۲-۳۹۷۰۰۸، ۹-۳۹۷۰۰۷، ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ و رقم سانته می‌باشد.

میانگین مقادیر آماره‌های CRM، d، ME، E و R^2 در مرحله واسنجی برای عملکرد سیب‌زمینی به‌ترتیب ۰/۰۰، ۰/۹۹، ۰/۵۹، ۰/۹۸ و ۰/۹۸ و در مرحله صحت سنجی ۰/۰۷-، ۰/۹۷، ۱/۶۸، ۰/۹ و ۰/۸۹ به‌دست آمد. ایزدی و همکاران (۱۳۹۷) برای گیاه سیب‌زمینی در مرحله واسنجی مقادیر RMSE، NRMSE، CRM و d را برای آبیاری کامل به‌ترتیب ۰/۳۴، ۸/۵، ۰/۰۴ و ۰/۹۹، برای آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی (I_{80})، ۰/۶۷، ۱۸/۱۶، ۰/۱۲ و ۰/۹۴ و برای آبیاری ۶۵ درصد نیاز آبی (I_{65})، ۰/۶۶، ۳۰/۵۹، ۰/۱۷- و ۰/۹۲ گزارش کردند.

مطابق نتایج جدول ۳ میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب برای مرحله واسنجی ۲۰/۱۰ درصد و برای مرحله صحت‌سنجی ۴۶/۹۶ درصد محاسبه گردید. مقدار آماره فوق بیش از مقدار توصیه شده برای داشتن دقت متوسط است که نشان‌دهنده شبیه‌سازی نامناسب بهره‌وری مصرف آب در مرحله صحت‌سنجی است. در حالی‌که سایر آماره‌های مربوط به عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب برای هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مناسب هستند. ایزدی و همکاران (۱۳۹۷) بیان می‌دارند بهره‌وری مصرف آب تابع عملکرد و تبخیر و تعرق بوده و در نتیجه تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی این پارامتر می‌تواند علاوه بر تفاوت در برآورد عملکرد محصول ناشی از تخمین تبخیر و تعرق توسط مدل نیز باشد. میانگین مقادیر آماره‌های CRM، d، ME، E و R^2 در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب سیب‌زمینی به‌ترتیب ۰/۱۴-، ۰/۸۲، ۰/۶۳، ۰/۷۵ و در مرحله صحت سنجی ۰/۰۴-، ۰/۵۲، ۱/۱۷، ۵/۶۳- و ۰/۶۶ به‌دست آمد.

همچنین نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد مدل AquaCrop با توجه به مقدار ضریب تبیین عملکرد محصول ۰/۸۳ تا ۰/۹۷ و میانگین ۰/۸۹ طی مرحله صحت‌سنجی برای همه کلون‌های سیب‌زمینی قادر است تا ۸۹ درصد عملکرد را شبیه‌سازی نماید. به‌همین ترتیب مدل توانایی شبیه‌سازی ۶۶ درصد بهره‌وری مصرف آب را دارد. در بین کلون‌های مختلف مورد بررسی نیز کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ در واسنجی و صحت‌سنجی وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر کلون‌ها داشت این وضعیت بهتر می‌تواند مربوط به مرفولوژی کلون باشد که توسعه ریشه بیشتری داشته و عملکرد و بهره‌وری بالاتری نسبت به سایر کلون‌ها داشته است، مدل هم این وضعیت برتر کلون را به‌خوبی شبیه‌سازی کرد.

در مجموع جدول ۳ نشان می‌دهد که مقادیر واقعی و شبیه‌سازی عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب در کلون‌های مختلف سیب‌زمینی متفاوت است و خطای آماری مربوط به بهره‌وری مصرف آب بیش از عملکرد است. علت این تفاوت می‌تواند در فیزیولوژی متفاوت رشد ارقام سیب‌زمینی و دقت در اندازه‌گیری‌ها باشد. دقت اندازه‌گیری برای عملکرد محصول مربوط به یک نوبت اندازه‌گیری در انتهای فصل برداشت می‌باشد. ولی بهره‌وری مصرف آب از اندازه‌گیری عملکرد محصول در انتهای فصل و اندازه‌گیری آب مصرفی در طی فصل به‌دست می‌آید. نتایج پژوهش امداد و تافته (۱۳۹۸) نیز نشان داد که مقدار خطای شبیه‌سازی مدل AquaCrop برای بهره‌وری مصرف آب (۱۳ درصد) بیشتر از عملکرد گندم (۵ درصد) می‌باشد.

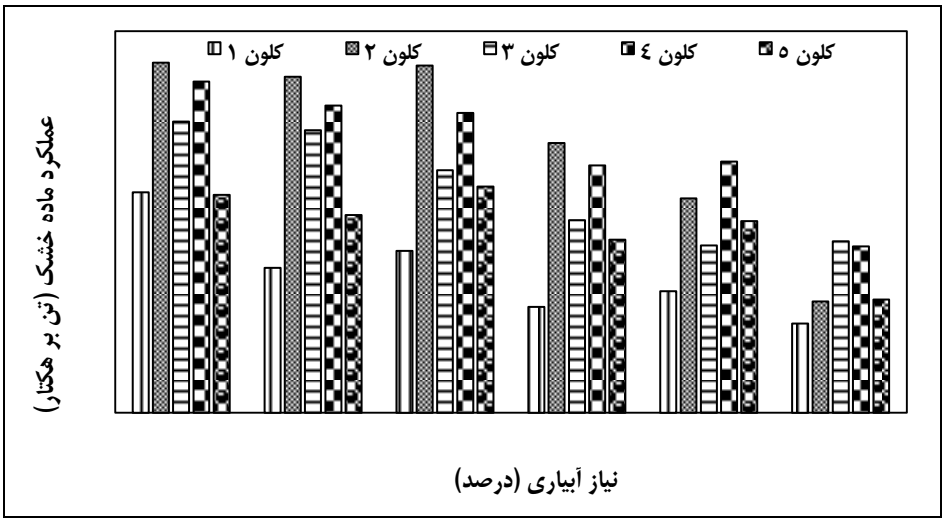
در جدول ۴ مقدار خطای شبیه‌سازی عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب براساس کلون‌های سیب‌زمینی و سطوح نیاز آبی آمده است.

جدول ۴ نشان می‌دهد بیشترین مقدار شبیه‌سازی شده عملکرد

ماده خشک و مقدار بهره‌وری مصرف آب در همه کلون‌های سیب‌زمینی (به‌جز سانته) به سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری تعلق دارد. لیکن بررسی خطای برآورد عملکرد در اکثر کلون‌ها نشان می‌دهد حداقل خطا عموما به سطح کمتر از ۱۰۰ درصد مربوط است. به‌عنوان نمونه در کلون ۱-۳۹۷۰۰۹۷ و ۲-۳۹۷۰۰۸ حداقل خطا در سطح ۸۰ درصد، در کلون ۹-۳۹۷۰۰۷ و ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ در سطح ۹۰ درصد نیاز آبیاری مشاهده شد. ضمن آن‌که عملکرد شبیه‌سازی شده در همه کلون‌ها (به‌جز کلون ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ در سطح ۱۰۰ و ۹۰ و رقم سانته در سطح ۶۰ درصد نیاز آبی) بیش از مقدار اندازه‌گیری است که با مقادیر CRM منفی صحت‌سنجی در جدول ۳ هم‌خوانی دارد. بررسی‌های جزئی‌تر مربوط به عملکرد ماده خشک نشان می‌دهد در شرایط کم‌آبیاری بیشترین مقدار ماده خشک به سطح ۸۰ درصد نیاز آبی و کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ تعلق دارد که معادل ۱۶/۳۹ تن بر هکتار است و مدل در شبیه‌سازی آن با اختلاف ۰/۰۵ تن بر هکتار و خطای ۰/۳۱ درصد موفق بوده است. در تایید این موضوع در شکل ۲ نتایج عملکرد ماده خشک شبیه‌سازی شده تمامی کلون‌ها توسط مدل در سطوح مختلف نیاز آبی ترسیم شده است.

جدول ٤- اختلاف مقادیر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کلون‌های سیب‌زمینی در سطوح مختلف نیاز آبی

رقم یا کلون	سطوح نیاز آبی	عملکرد ماده خشک ($ton.ha^{-1}$)			خطا (٪)	بهره‌وری مصرف آب ($kg.m^{-3}$)			خطا (٪)
		اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	اختلاف		اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	اختلاف	
۱-۳۹۷۰۰۹۷	۱۰۰	۱۰/۳۴	۱۰/۴۰	۰/۰۶	۰/۵۸	۱/۳۸	۲/۴۳	۱/۰۵	۷۶/۰۹
	۹۰	۶/۳۰	۶/۸۵	۰/۵۵	۸/۷۳	۰/۹۸	۱/۷۱	۰/۷۳	۷۴/۴۹
	۸۰	۷/۵۹	۷/۶۴	۰/۰۵	۰/۶۶	۱/۳۰	۱/۸۸	۰/۵۸	۴۴/۶۲
	۷۰	۴/۶۸	۵/۰۰	۰/۳۲	۶/۸۴	۰/۹۰	۱/۳۳	۰/۴۳	۴۷/۷۸
	۶۰	۵/۲۲	۵/۷۳	۰/۵۱	۹/۷۷	۱/۱۴	۱/۵۴	۰/۴	۳۵/۰۹
	۵۰	۲/۵۴	۴/۲۱	۱/۶۷	۶۵/۷۵	۰/۶۴	۱/۱۶	۰/۵۲	۸۱/۲۵
۲-۳۹۷۰۰۸	۱۰۰	۱۶/۳۱	۱۶/۵۳	۰/۲۲	۱/۳۵	۲/۱۷	۳/۳۷	۱/۲	۵۵/۳۰
	۹۰	۱۵/۷۷	۱۵/۸۵	۰/۰۸	۰/۵۱	۲/۴۵	۳/۲۳	۰/۷۸	۳۱/۸۴
	۸۰	۱۶/۳۴	۱۶/۳۹	۰/۰۵	۰/۳۱	۲/۰۸	۳/۴۱	۱/۳۳	۶۳/۹۴
	۷۰	۱۱/۸۲	۱۲/۷۳	۰/۹۱	۷/۷۰	۲/۲۷	۲/۸۴	۰/۵۷	۲۵/۱۱
	۶۰	۹/۹۵	۱۰/۱۲	۰/۱۷	۱/۷۱	۲/۱۷	۲/۴۹	۰/۳۲	۱۴/۷۵
	۵۰	۳/۶۸	۵/۲۵	۱/۵۷	۴۲/۶۶	۰/۹۳	۱/۴۵	۰/۵۲	۵۵/۹۱
۹-۳۹۷۰۰۷	۱۰۰	۱۳/۵۷	۱۳/۷۴	۰/۱۷	۱/۲۵	۱/۸۱	۳/۰۸	۱/۲۷	۷۰/۱۷
	۹۰	۱۳/۲۳	۱۳/۳۳	۰/۱	۰/۷۶	۲/۰۵	۲/۹۶	۰/۹۱	۴۴/۳۹
	۸۰	۱۱/۲۶	۱۱/۴۵	۰/۱۹	۱/۶۹	۱/۹۴	۲/۴۰	۰/۴۶	۲۳/۷۱
	۷۰	۸/۶۷	۹/۰۹	۰/۴۲	۴/۸۴	۱/۶۶	۲/۱۱	۰/۴۵	۲۷/۱۱
	۶۰	۶/۳۵	۷/۸۹	۱/۵۴	۲۴/۲۵	۱/۳۹	۱/۹۱	۰/۵۲	۳۷/۴۱
	۵۰	۶/۱۲	۸/۰۹	۱/۹۷	۳۲/۱۹	۱/۵۵	۲/۲۷	۰/۷۲	۴۶/۴۵
۱۳-۳۹۷۰۰۱۵	۱۰۰	۱۵/۶۸	۱۵/۶۳	-۰/۰۵	-۰/۳۲	۲/۰۹	۳/۴۱	۱/۳۲	۶۳/۱۶
	۹۰	۱۴/۵۱	۱۴/۵۰	-۰/۰۱	-۰/۰۷	۲/۲۵	۳/۱۲	۰/۸۷	۳۸/۶۷
	۸۰	۱۴/۱۰	۱۴/۱۶	۰/۰۶	۰/۴۳	۲/۴۲	۳/۱۵	۰/۷۳	۳۰/۱۷
	۷۰	۱۰/۹۴	۱۱/۶۸	۰/۷۴	۶/۷۶	۲/۱۰	۲/۶۱	۰/۵۱	۲۴/۲۹
	۶۰	۱۱/۱۶	۱۱/۸۵	۰/۶۹	۶/۱۸	۲/۴۴	۳/۰۷	۰/۶۳	۲۵/۸۲
	۵۰	۵/۹۸	۷/۸۵	۱/۸۷	۳۱/۲۷	۱/۵۱	۲/۲۰	۰/۶۹	۴۵/۷۰
رقم سانته	۱۰۰	۱۰/۱۹	۱۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۸۸	۱/۳۶	۲/۳۹	۱/۰۳	۷۵/۷۴
	۹۰	۸/۴۶	۹/۳۳	۰/۸۷	۱۰/۲۸	۱/۳۱	۱/۸۷	۰/۵۶	۴۲/۷۵
	۸۰	۹/۹۶	۱۰/۶۸	۰/۷۲	۷/۲۳	۱/۷۱	۲/۶۵	۰/۹۴	۵۴/۹۷
	۷۰	۷/۰۱	۸/۱۷	۱/۱۶	۱۶/۵۵	۱/۳۴	۲/۱۰	۰/۷۶	۵۶/۷۲
	۶۰	۹/۴۵	۹/۰۴	-۰/۴۱	-۴/۳۴	۲/۰۶	۲/۷۵	۰/۶۹	۳۳/۵۰
	۵۰	۴/۰۳	۵/۳۴	۱/۳۱	۳۲/۵۱	۱/۰۱	۱/۷۵	۰/۷۴	۷۳/۲۷

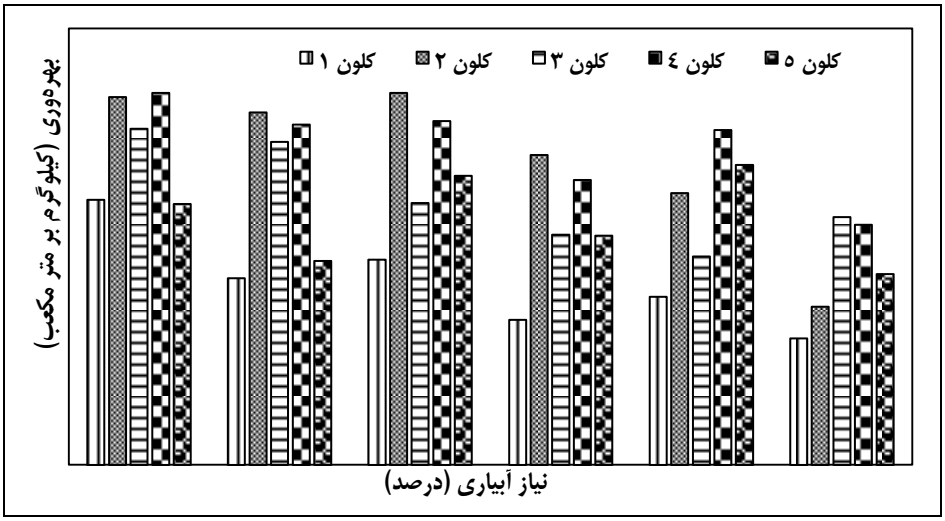


شکل ۱- نتایج عملکرد ماده خشک سناریوهای اجرا شده توسط مدل AquaCrop

*:کلون ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب کلون‌های شماره ۱-۳۹۷۰۰۹۷، ۲-۳۹۷۰۰۸، ۹-۳۹۷۰۰۷، ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ و رقم سانته می‌باشد.

شکل ۱ نشان می‌دهد تغییرات عملکرد ماده خشک تمامی کلون‌ها در سطح نیاز آبیاری ۷۰ درصد و کمتر، از عملکرد هر یک از سطوح نیاز آبی بالاتر و همچنین از میانگین عملکرد سطوح ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد کمتر است لذا کاربرد تنش‌های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی توصیه نمی‌گردد. همچنین در شرایط کم‌آبیاری پاسخ کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ با توجه به بیشتر بودن عملکرد ماده خشک در نیاز آبی ۸۰ درصد (۱۶/۳۹ تن بر هکتار) و کاهش مصرف آب آبیاری به‌میزان ۲۰ درصد، از دیگر کلون‌ها و از کلون ۵ (رقم سانته) به‌عنوان رقم مورد استقبال کشاورزان منطقه مناسب‌تر بود.

در شکل ۲ مقادیر شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب برای همه کلون‌های سیب‌زمینی به‌ازای سطوح متفاوت نیاز آبیاری به‌صورت ستونی آمده است.



شکل ۲- نتایج بهره‌وری سناریوهای اجرا شده توسط مدل AquaCrop

*:کلون ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به‌ترتیب کلون‌های شماره ۱-۳۹۷۰۰۹۷، ۲-۳۹۷۰۰۸، ۹-۳۹۷۰۰۷، ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ و رقم سانته می‌باشد.

شکل ۲ نشان می‌دهد در نیاز آبی کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش‌های ملایم (۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی) کلون‌های ۲-۳۹۷۰۰۸ و ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ و در تنش‌های شدید (۵۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) کلون ۱۳-۳۹۷۰۰۱۵ دارای بیشترین بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده بود. در بین همه کلون‌های مورد بررسی نیز کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی دارای بیشترین بهره‌وری آب برآورد شده به مقدار ۳/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. لذا پاسخ کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ در سطح ۸۰ درصد با توجه به بیشتر بودن بهره‌وری آب برآورد شده و

کاهش مصرف آب آبیاری، از دیگر کلون‌های مورد بررسی مناسب‌تر بود. همچنین در اکثر تیمارهای آبی مورد مطالعه، کلون ۱-۳۹۷۰۰۹۷ دارای کمترین بهره‌وری آب شبیه‌سازی شده بود که دلیل این امر بیشتر مربوط به کم بودن عملکرد شبیه‌سازی شده سیب زمینی در کلون ۱-۳۹۷۰۰۹۷ می‌باشد که شکل ۱ این امر را به‌وضوح نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی مدل اکواکراپ برای کلون‌های مختلف سیب زمینی تحت تیمارهای تنش آبی نشان داد که این نرم افزار قادر به شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه سیب زمینی می‌باشد. همچنین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب در کلون‌های مختلف سیب‌زمینی متفاوت بود و خطای آماری مربوط به بهره‌وری مصرف آب بیش از عملکرد ماده خشک شد. بررسی خطای برآورد عملکرد توسط این مدل در اکثر کلون‌ها نشان داد حداقل خطا، عموما به سطح کمتر از ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختصاص یافت ضمن آن‌که عملکرد شبیه‌سازی شده در اکثر کلون‌ها بیش از مقدار اندازه‌گیری بود. اما نتایج کلی حاصل از مدل‌سازی رشد گیاه سیب زمینی در این پژوهش نشان داد که کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ دارای بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی بود و با توجه به این امر پیشنهاد می‌گردد که کلون ۲-۳۹۷۰۰۸ و آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی توسط کشاورزان منطقه مورد استفاده قرار گیرد تا ۲۰ درصد صرفه‌جویی آب صورت گرفته و بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب سیب زمینی حاصل گردد.

منابع

امداد، م.ر.، تافته، آ. ۱۳۹۸. تعیین مناسب‌ترین عمق آب آبیاری گیاه گندم با استفاده از مدل Aquacrop در راستای ارتقا کارآیی مصرف آب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳. ۲: ۴۲۵-۴۱۷.

امیری، ا.، بحرانی، ع.، خورسند، ا.، حق‌جو، م. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم، تحت تنش کم‌آبیاری. نشریه دانش آب و خاک، ۲۵. ۴/۲: ۲۲۹-۲۱۷.

ایزدی، ز.، نصرالهی، ع.ح. و حقیقتی بروجنی، ب. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سیب‌زمینی تحت تنش آبی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹. ۱: ۱۸۰-۱۷۱.

حسینی، س.ط.، خوش‌روش، م.، ضیاتبار احمدی، م. و قدمی فیروزآبادی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد سویا با مدل AquaCrop تحت تأثیر مدیریت شوری و کم‌آبیاری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰. ۳: ۳۷۲-۳۶۱.

ذبیحی، ا.، درزی‌نفت‌چالی، ع. و خوش‌روش، م. ۱۳۹۴. عملکرد برنج تحت مدیریت های زهکشی سطحی و زیرزمینی و ارزیابی مدل آکواکراپ. فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۵ .۴: ۱۶۳-۱۵۰.

ضیایی، غ.، بابازاده، ح.، عباسی، ف. و کاوه، ف. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize در برآورد اجزای بیلان آب و خاک و عملکرد ذرت. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۵. ۴: ۴۴۵-۴۳۵.

قدمی فیروزآبادی، ع. و پرویزی، خ ۱۳۸۹. اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب کلون‌های جدید سیب‌زمینی در آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ). مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۴. ۲: ۱۴۴-۱۳۳.

کریمی اورگانی، ح.، رحیمی خوب، ع. و نظری‌فر، م.ه. ۱۳۹۶. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست‌توده جو در شرایط کم‌آبیاری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱. ۳: ۳۵۳-۳۴۱.

محمدی، م.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، انصاری، ح. و شهیدی، ع. ۱۳۹۴. اعتبارسنجی مدل AquaCrop به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم بهاره تحت شرایط همزمان تنش شوری و خشکی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹. ۱: ۸۴-۶۷.

Akumaga, U., Tarhule, A. and Yusuf, A.A. 2017. Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rain fed maize in Nigeria, West Africa. Agricultural and Forest Meteorology. 232: 225-234.

Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A. and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barley. Agricultural Water Management. 97:1838-1846.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V. and Steduto, P. 2009. Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. Agronomy Journal. 101:499-508.

Iqbal, M.A., Shen, Y., Stricevic, R., Pei, H., Sun, H., Amiri, E., Penas, A. and Rio, S. 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for witer wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. Agricultural Water Management. 135: 61-72.

Jamieson, P., Porter, J. and Wilson, D. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van liew, M.W., Bingener, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE. 50.3: 885-900.

Paredes. P., de Melo-Abreu, J.P., Alves, I. and Pereira, L.S. 2014. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. Agricultural Water Management. 114: 81-97.

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

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M., Stockle, C. and Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal. 101: 509-521.

Willmott, C.J. 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin American Meteorological Society. 63: 1309-1313.

wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research. 27: 337-350.

Kumar, P., Sarangi, A., Singh, D.K. and Parihar, S.S. 2014. Evaluation of AquaCrop model in predicting wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. Irrigation and Drainage. 63: 474–487.

Malik, A., Shakir, A.S., Ajmal, M., Khan, M.J. and Khan, T.A. 2017. Assessment of AquaCrop model in simulating sugar beet canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of Pakistan. Water Resources Management. 31.13: 4275-4292.

Mirsafi, Z.S., Sepaskhah, A.R., Ahmadi, S.H. and Kamgar-Haghighi, A.A. 2016. Assessment of AquaCrop model for simulating growth and yield of Saffron (Crocus sativus L.). Agricultural Water Management. 211: 343-351.

Montoya, F., Camargo, D., Ortega, J.F., Corcoles, J.I. and Dominguez, A. 2016. Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions. Agricultural Water Management. 164: 267-280.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 230-240

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۲۴۰-۲۳۰

Evaluation of AquaCrop Model under Deficit Irrigation Management of Potato New Clones in Hamedan

M. Jovzi[1*], Z. Ghorbani[2], A. Ghadami Firouzabadi[3], N. Sepehri[4], H. Zare Abyaneh[5]
Recived: Aug.15, 2019 Accepted: Oct.06, 2019

Abstract

In this study, dry matter yield and water productivity of five clones of potato under irrigation conditions at 100, 90, 80, 70, 60 and 50% water requirement levels were evaluated by AquaCrop model. Field experiments were conducted in split plot design based on randomized complete block design with two years at Ekbatan station of Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan province. After sensitivity analysis, the results of the first year experiments were used for calibration and theresults of the second year experiments were used for model validation. The results showed that this model had an average error of 10.95 and 47.34% in simulating yield and water productivity of potato, respectively. Therefore, this model was less accurate in estimating water productivity than the appropriate estimation of potato yield. Under water shortage conditions, Clone 397008-2 had the highest yield and water productivity at 80% of water requirement with 16.39 ton ha^{-1} and 3.41 kg m^{-3}, respectively. Therefore, it is recommended that this clone and irrigation use 80% of the water requirement by the farmers in the region to achieve 20% water saving and maximize potato yield and water productivity.

Keywords: Potato growth simulation, Potato yield, Water productivity, Water requirement

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
2- Graduated Master Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran
4- MA in Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
5- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: jovzimehdi11@yahoo.com)