

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی و تعیین عمق مناسب آب آبیاری

محمدعلی انصاری^۱، اصلان اگدرنژاد^{۲*}، نیازعلی ابراهیمی پاک^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

چکیده

گیاه سیب‌زمینی پنجمین منبع غذایی جهان به شمار می‌رود که در کشور ما نیز در سطح وسیعی کشت می‌شود. با توجه به حساسیت این گیاه زراعی به مقدار آب آبیاری، لازم است اثر مقادیر مختلف آبیاری بر عملکرد آن در مناطق مختلف بررسی شود. بر این اساس انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای الزامی لیکن دشوار، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. بدین منظور، از مدل SWAP به عنوان ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی استفاده شد. در این پژوهش برای ارزیابی این مدل، از داده‌های زراعی دو ساله برداشت شده از یک مزرعه تحقیقاتی در چهارتخته شهرکرد استفاده شد. این داده‌ها شامل پنج سطح تنش آبی (E0، E1، E2، E3 و E4) به ترتیب نشان‌دهنده ۱۰۰، ۸۵، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد تأمین نیاز آبی) و سه زمان اعمال تنش (T1، T2 و T3) به ترتیب نشان‌دهنده ۵۰ روز رشد اول (استقرار بذر و رشد رویشی)، دوم (رشد کامل) و سوم (رسیدن گیاه) از کل دوره رشد گیاه بود. مقادیر آماره NRMSE برای عملکرد و کارایی مصرف آب نشان داد که مدل SWAP در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی دقت عالی داشت ($0/1 < \text{NRMSE}$). خطای این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۱/۴۲ تن در هکتار (۴/۶ درصد) و ۲/۳۶ تن در هکتار (۷/۲ درصد) بود. مقدار خطای این مدل برای کارایی مصرف آب در دو مرحله‌ی اشاره شده به ترتیب ۰/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب (۴/۹ درصد) و ۰/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب (۷/۷ درصد) بود. همچنین کارایی مدل SWAP برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی قابل قبول بود. برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی با استفاده از مدل SWAP نشان داد که برای دستیابی به بیشترین عملکرد، بهتر است عمق آب آبیاری در دوره اول رشد برابر با ۷۵۰ میلی‌متر و در دوره‌های بعدی ۹۰۰ میلی‌متر باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، کارایی مصرف آب، عمق آب آبیاری، مدل SWAP

مقدمه

در سید غذایی مردم دارد (بهراملو و ناصری، ۱۳۸۹). نیاز آبی این گیاه حداقل ۵۰۰۰ متر مکعب در طول دوره رشد است که در شرایط کمبود بارش و بالا بودن تبخیر و تعرق می‌تواند تا بیش از ۶۰۰۰ مترمکعب نیز افزایش یابد (Begum et al., 2018). حساسیت این گیاه به کم‌آبی سبب شده است تا بخش عمده‌ای از منابع آبی در دسترس برای زراعت آن در نظر گرفته شود (Hassan et al., 2002; Shock and Feibert, 2002; Yuan et al., 2003; Shock, 2004; Kiziloglu et al., 2006). به همین دلیل، به منظور کاهش فشار بر منابع آب و افزایش راندمان آبیاری، لازم است برنامه‌ریزی آبیاری سیب‌زمینی مد نظر مدیران و بهره‌برداران قرار گیرد. این موضوع بنابر لزوم توجه به کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر بیشتر اهمیت یافته است (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۳؛ ضیایی و همکاران، ۱۳۹۳).

انجام آزمایش‌های متعدد برای تعیین عمق مناسب آبیاری سیب‌زمینی در دوره‌های مختلف رشد نیازمند صرف وقت و هزینه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یکی از منابع غذایی مهم در سراسر دنیا است که به عنوان پنجمین گیاه زراعی مهم در جهان معرفی شده است (FAOSTAT, 2013). براساس آخرین آمار منتشر شده از مرکز ملی آمار ایران، سطح زیر کشت این گیاه زراعی در ایران نیز ۱۲۲۵۷۸ هکتار است و بیش از ۴ میلیون تن از آن برداشت شده است (بی‌نام، ۱۴۰۱). به همین دلیل سهم قابل توجهی

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی علوم 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

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

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.5.1.6

نشان دادند که کاهش سطح زیر کشت فقط در محصول برنج موثر است و بر سایر گیاهان مانند سیب‌زمینی اثر منفی می‌گذارد. ایشان همچنین پیشنهاد کردند که محصولات سیب‌زمینی، گندم و جو به جای برنج در این منطقه کشت شوند. در تحقیقی دیگر از مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی تحت تنش آبی و کمبود اکسیژن در هلند استفاده شد (Yan, 2015). نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل گیاهی با کارایی بین ۰/۸۹-۰/۹۵ توانایی لازم برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی را داشت. این محقق همچنین از مدل SWAP برای ارزیابی خلا عملکرد سیب‌زمینی در یک مزرعه در کشور هلند استفاده کرد و نشان داد که ضعف عمده خلا عملکرد به دلیل کمبود آب در دوره ابتدایی و میانی رشد بود (Yan, 2015).

بررسی منابع نشان داد که مدل SWAP توانایی لازم برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی دارد. لیکن کاربرد آن برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف سیب‌زمینی کمتر مورد توجه محققان بوده است. از طرف دیگر، تأمین نیاز آبی در دوره‌های مختلف رشد و همزمان با اعمال تنش آبی توسط این مدل گیاهی توسط محققان مورد ارزیابی قرار نگرفته است. این مهم برای گیاه سیب‌زمینی که به شرایط کم‌آبی بسیار حساس است از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی تحت عمق‌های مختلف تأمین آب آبیاری انجام شد. سپس از مدل ارزیابی شده‌ی SWAP برای تعیین عمق آب آبیاری سیب‌زمینی استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش میدانی

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برگرفته از طرح تحقیقاتی دو ساله (ابراهیمی‌پاک و پذیرا، ۱۳۸۷؛ ابراهیمی‌پاک، ۱۳۹۳) انجام شده در مزرعه آزمایشی ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد در طول جغرافیایی ۵۶° ۵۰° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲° ۱۸° شمالی و ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا می‌باشد. این منطقه اقلیم نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد دارد. برخی مشخصات هواشناسی منطقه مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است.

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا در سه تکرار انجام شد. در دو فاکتور مورد بررسی در این تحقیق مقدار تنش آبی و زمان اعمال تنش بود. مقدار تنش آبی در پنج سطح E0، E1، E2، E3 و E4 به ترتیب نشان دهنده‌ی ۱۰۰، ۸۵، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد تأمین نیاز آبی سیب‌زمینی و زمان اعمال تنش نیز به سه بازه ۵۰ روزه شامل T1، T2 و T3 تقسیم شد که به ترتیب بیانگر ۵۰ روز رشد اول

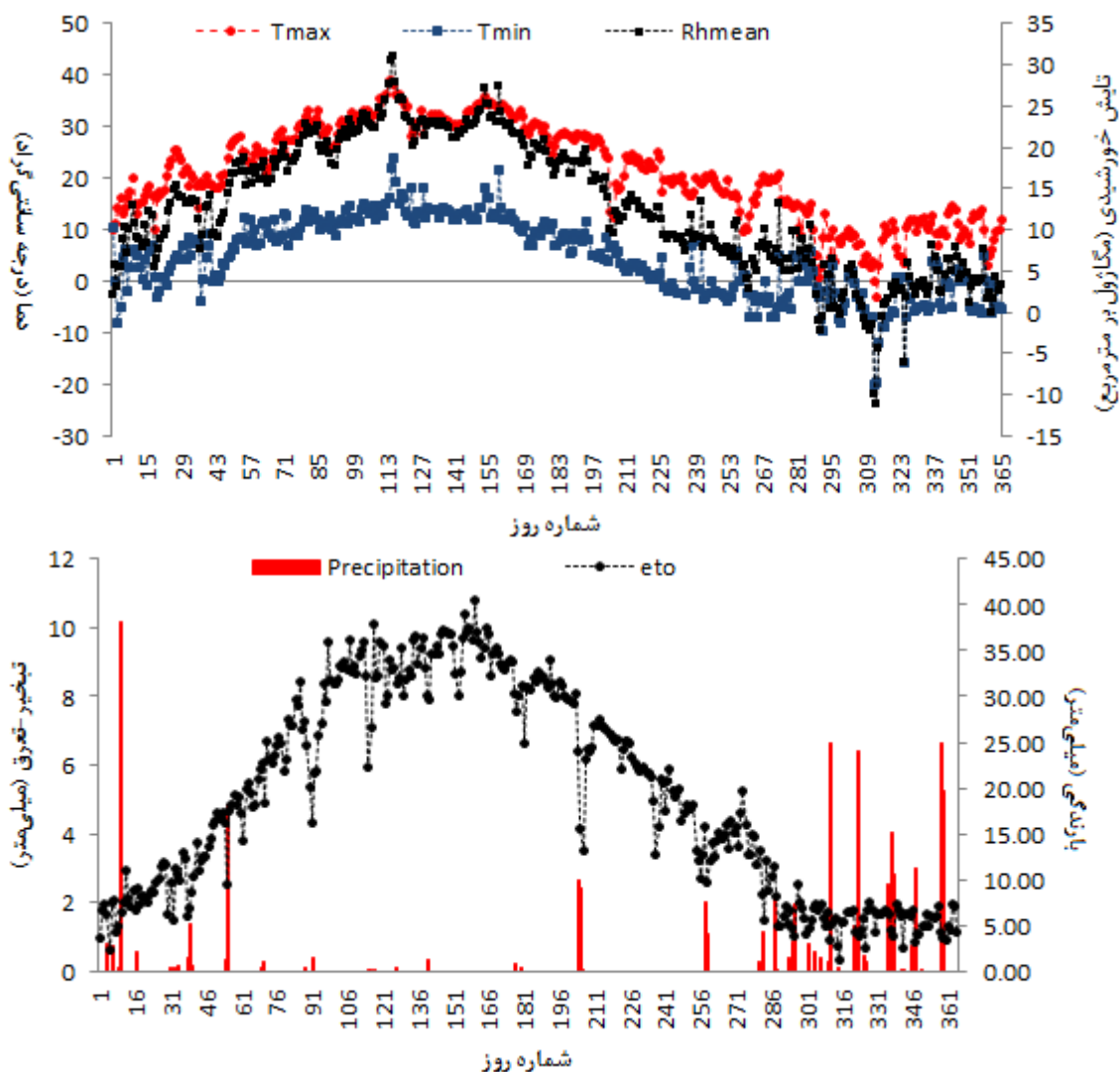
بسیار است. به منظور رفع این مشکل، مدل‌های گیاهی مختلفی توسط سازمان‌های تحقیقاتی در جهان بسط داده شده است. مدل SWAP^۱ یکی از مدل‌های گیاهی است که توسط موسسه تحقیقاتی آلترا در دانشگاه واگنینگن هلند بسط داده شده است (Van Dam et al., 1997) و قابلیت شبیه‌سازی رابطه بین آب-خاک-گیاه-اتمسفر را دارد. به همین دلیل برای شبیه‌سازی گیاهان مختلف در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

جنوبی و همکاران از مدل SWAP برای شبیه‌سازی گیاه برنج در شمال کشور استفاده کردند. این محققان گزارش کردند که دقت این مدل برای تعیین عملکرد برنج با استفاده از آماره RMSE برابر با ۴/۹۴ درصد قابل قبول بود (Jonubi et al., 2017). در تحقیقی دیگر، ما و همکاران با استفاده از مدل SWAP به شبیه‌سازی عملکرد گندم در کشور چین پرداختند. این محققان برای ارزیابی این مدل گیاهی از دو آماره جذر میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) و میانگین خطای نسبی^۳ (MRE) استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که خطای این مدل براساس دو آماره مذکور به ترتیب برابر با ۲/۴ و ۸ درصد بود (Ma et al., 2011). بن‌فانته و همکاران از مدل SWAP برای شبیه‌سازی ذرت دانه‌ای در شمال ایتالیا استفاده کردند. نتایج به دست آمده از مطالعات ایشان نشان داد که مدل SWAP برای تعیین پارامترهای گیاه مورد نظر از دقت و کارایی کافی برخوردار بود (Bonefante et al., 2010). بن‌فانته و بوما با تکیه بر دقت مدل SWAP، از این مدل برای شبیه‌سازی اثرات کمبود آب بر عملکرد یازده رقم ذرت تحت شرایط تغییر اقلیم در مناطق جنوبی ایتالیا استفاده کردند (Bonefante and Bouma, 2015). این محققان گزارش کردند که برای پیش‌بینی شرایط آینده، استفاده از مدل‌سازی گیاهی اجتناب‌ناپذیر است. از این رو، با استفاده از مدل SWAP نشان داد که در صورت اعمال شرایط کم‌آبیاری ۸۰٪ و ۶۰٪ عملکرد ذرت در دهه‌های آینده برای به‌هیچ‌وجهی مورد مطالعه و سری‌های خاک بسیار متفاوت از شرایط دسترسی کامل به آب آبیاری خواهد بود. امیری از مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در شرایط کشت در منطقه شیراز استفاده کرد. براساس گزارش این محقق، دقت مدل SWAP براساس مقادیر آماره‌های RSME و ME به ترتیب برابر با ۹/۶- و ۱/۵- بود. بنابراین دقت این مدل برای شبیه‌سازی ذرت در این منطقه تأیید شد (Amiri, 2017). مساح بوانی و مرید با استفاده از مدل SWAP به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی حوضه زاینده‌رود در اصفهان پرداختند (مساح‌بوانی و مرید، ۱۳۸۴). این محققان

- 1- Soil Water Atmosphere Plant
- 2- Root Mean Square Error
- 3- Mean Relative Error (MRE)

در شکل (۲) نشان داده شده است. داده‌های برداشت شده از آزمایش مزرعه‌ای برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP استفاده گردید.

(استقرار بذر و رشد رویشی)، دوم (رشد فیزیولوژی) و سوم (رسیدن گیاه) از کل دوره رشد بودند. مقادیر آب آبیاری برای تیمارهای مختلف



شکل ۱- مشخصات هواشناسی منطقه مورد مطالعه

(میلی‌متر)، Sw_2 رطوبت لایه خاک در ابتدای دوره اندازه‌گیری (میلی‌متر) و Sw_1 رطوبت لایه خاک در انتهای دوره اندازه‌گیری (میلی‌متر) بود. به منظور آبیاری از لوله‌ای که در مزرعه تعبیه شده بود استفاده شد. آب با استفاده از این لوله به کرت‌ها منتقل شده و به صورت ثقیلی در سطح هر کرت توزیع می‌شد. در انتهای لوله انتقال کنتور با دقت یک دهم لیتر تعبیه شده بود تا بتوان مقدار آب آبیاری مورد نیاز هر کرت را اندازه‌گیری کرد. پس از رسیدن محصول، برداشت به صورت دستی انجام شد. سپس کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین شد.

$$WUE = \frac{Y}{I} \quad (2)$$

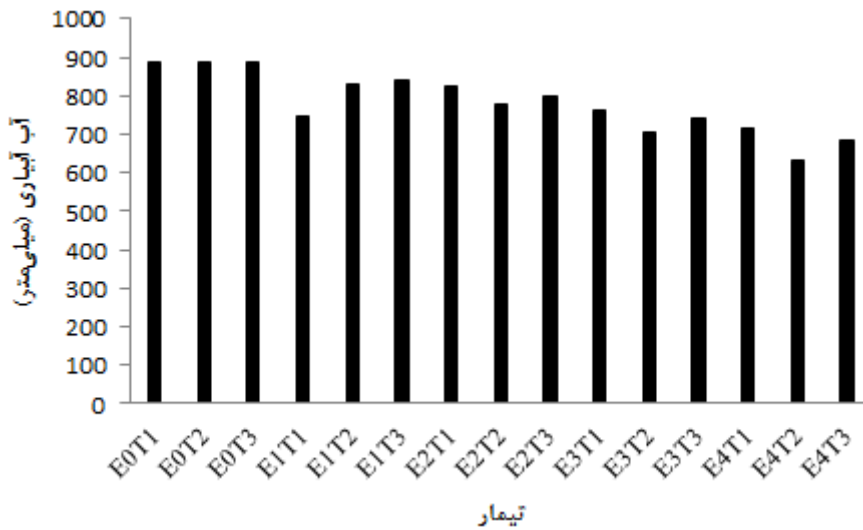
در این تحقیق، بذر مورد استفاده از رقم آگریا و به میزان ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. کاشت گیاهان در اول خرداد و برداشت در ۲۶ مهر ماه انجام شد. نیاز آبی هر کرت براساس سناریو مورد نظر و با استفاده از داده‌های برداشت شده از لایسی‌متر زهکش‌دار در مجاورت کرت‌های مورد آزمایش اندازه‌گیری و اعمال می‌شد (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

است. مشخصات خاک آزمایش و آب آبیاری به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

که در این رابطه، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم) و I مقدار آب آبیاری (مترمکعب)



شکل ۲- میانگین مقادیر مختلف آب آبیاری برای تیمارها

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

عمق	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری	رطوبت در ظرفیت زراعی	رطوبت در نقطه بزمردگی دائم	EC	pH	پتاسیم	فسفر	ازت کل	کربن آلی
Cm	-	g.cm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³	dS.m ⁻¹	-	ppm	ppm	%	%
۰-۳۰	سیلتی رسی لوم	۱/۴۸	۲۱/۴	۱۱/۶	۰/۳۵	۸/۰۷	۳۸۴	۸/۱۵	۰/۷۲	۰/۵۵
۳۰-۶۰	سیلتی لوم	۱/۴۸	۲۱/۴	۱۲/۲	۰/۳۲	۸/۰۷	۲۹۳	۷/۷	۰/۷۲	۰/۴۸

جدول ۲- نتایج تجزیه کیفیت آب آبیاری در مزارع آزمایشی

EC	pH	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات
dS.m ⁻¹	-	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹	meq.l ⁻¹
۰/۳۷	۷/۷	۳/۴	۳/۴	۰/۷	-	-	۲/۹	۰/۴	۰/۸

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

تحلیل حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و ارزیابی مدل

پیش از واسنجی، تحلیل حساسیت این مدل براساس رابطه (۵)

مدل SWAP

تابع اصلی مدل SWAP برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی به صورت رابطه‌ی (۳) تعیین می‌شود (Van dam et al., 1997). البته محصول نسبی در کل فصل رشد می‌بایست در این مدل تعریف شود. تابع تعیین کننده‌ی محصول نسبی در هر مرحله از رشد با استفاده از رابطه‌ی (۴) به دست می‌آید.

$$1 - \frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} = K_{y,k} \left(1 - \frac{T_{a,k}}{T_{p,k}} \right) \quad (3)$$

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{k=1}^n \left(\frac{Y_{a,k}}{Y_{p,k}} \right) \quad (4)$$

که در این رابطه، $K_{y,k}$ ضریب واکنش گیاه به مرحله‌ی رشد K ، $T_{p,k}$ و $T_{a,k}$ تعرق واقعی و پتانسیل در طول دوره‌ی رشد K

کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۱-۰/۲، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی SWAP مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

برنامه‌ریزی آبیاری

پس از اینکه مدل SWAP در سطوح مختلف تأمین نیاز آبی (۱۰۰، ۸۵، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد) در سه دوره‌ی T1، T2 و T3 مورد ارزیابی قرار گرفت، از این مدل برای تعیین عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در عمق‌های مختلف آب آبیاری استفاده شد. از این رو در این مرحله، عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در عمق‌های ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر آب آبیاری در هر سه دوره رشد (T1 تا T3) با استفاده از مدل SWAP شبیه‌سازی شد. برنامه‌ریزی آبیاری به صورتی بود که فواصل آبیاری با اختلاف ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در اعمال هر عمق آبیاری، فرض شد مقدار آب آبیاری در سایر مراحل رشد به صورت کامل اعمال می‌شد.

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت و تعیین پارامترها

برخی نتایج حاصل از تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWAP در جدول (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود؛ در اکثر پارامترها میزان حساسیت مدل SWAP متوسط بود. این نتایج توسط یان نیز گزارش شده است (Yan, 2015). این محقق با بررسی حساسیت مدل SWAP گزارش کرد که این مدل گیاهی به پارامترهایی مانند مجموع دما از گرده افشانی تا بلوغ حساس است. تغییرات دو پارامتر عمق اولیه ریشه و کارایی ماده جذب شده به ساقه حساسیت کمی بر تغییرات نتایج شبیه‌سازی داشتند. پارامترهایی که دارای حساسیت متوسط بودند تحت واسنجی قرار گرفتند. بر این اساس در جدول (۴)، برخی مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل SWAP آورده شده است.

انجام شد (Geerts and Raes., 2009):

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (5)$$

که در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد پارامتر مورد نظر براساس 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. در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $Sc > 15$ حساسیت بالا، $15 > Sc > 2$ حساسیت متوسط، $Sc < 2$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). سپس، از داده‌های سال اول کشت برای واسنجی و از داده‌های سال دوم کشت برای صحت‌سنجی مدل SWAP استفاده شد. برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی شده از مدل SWAP از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده^۲ (NRMSE)، میانگین خطای اریب^۳ (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۶) تا (۱۱) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}_i} \quad (7)$$

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

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

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (10)$$

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

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر

1- Root Mean Squared Error

2- Normalized Root Mean Square Error

3- Mean Bias Error

جدول ۳- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل رشد گیاهی SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی

پارامتر	مقدار Sc در حالت +۲۵٪	مقدار Sc در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت
مجموع دما از سبز شدن تا گرده‌افشانی	۱/۴	۲/۵	متوسط
مجموع دما از گرده‌افشانی تا بلوغ	۲/۶	۲/۳	متوسط
کارایی مصرف نور یک برگ	۵/۵	۴/۲	متوسط
عمق اولیه ریشه	۰/۹	۱/۶	کم
کارایی تبدیل ماده جذب شده به برگ	۵/۶	۲/۷	متوسط
کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای	۴/۸	۳/۳	متوسط
کارایی ماده جذب شده به ساقه	۱/۹	۱/۳	کم
حداکثر عمق ریشه	۸/۲	۴/۹	متوسط

جدول ۴- مقادیر عوامل گیاهی مورد استفاده در مدل SWAP

توضیح پارامتر	مقدار	واحد	توضیح
مجموع دما از سبز شدن تا گرده‌افشانی	۱۶۰	درجه‌سانتی‌گراد	واسنجی
مجموع دما از گرده‌افشانی تا بلوغ	۱۲۸۰	درجه‌سانتی‌گراد	واسنجی
مرحله توسعه در برداشت	۲	-	پیش‌فرض
وزن خشک اولیه	۳۳	کیلوگرم بر هکتار	پیش‌فرض
شاخص سطح برگ در زمان سبز شدن	۰/۰۵۸۹	متر مربع بر مترمربع	پیش‌فرض
بیشترین افزایش نسبی شاخص سطح برگ	۰/۰۱۲۰۰	متر مربع بر مترمربع بر روز	پیش‌فرض
ضریب نابودی نور مریی پخش شده	۱	-	پیش‌فرض
ضریب نابودی نور مریی مستقیم	۰/۷۵	-	پیش‌فرض
کارایی مصرف نور یک برگ	۰/۵۰	ژول بر متر مربع بر ثانیه	واسنجی
کارایی تبدیل ماده جذب شده به برگ	۰/۷۰	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای	۰/۸۵	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ساقه	۰/۶۵	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
عمق اولیه ریشه	۱۰	سانتی‌متر	پیش‌فرض
حداکثر عمق ریشه	۵۰	سانتی‌متر	پیش‌فرض

ارزیابی مدل SWAP

مقایسه آماری نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در جدول (۵) نشان داده شده است. براساس آماره MBE، مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد در مرحله‌ی واسنجی دچار خطای بیش‌برآوردی ($MBE > 0$) و در مرحله‌ی صحت‌سنجی دچار خطای کم‌برآوردی ($MBE < 0$) شد. مقادیر خطا، براساس آماره RMSE، نشان داد که این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در مرحله واسنجی خطایی برابر با ۱/۴۲ تن در هکتار (۴/۶ درصد) و در مرحله صحت‌سنجی خطایی برابر با ۲/۳۶ تن در هکتار (۷/۲ درصد) داشت. بنابراین خطای این مدل در هر دو مرحله‌ی واسنجی و صحت‌سنجی قبول بود. این نتایج با مشاهدات جنوبی و همکاران (Jonubi et al., 2017) و ما و همکاران (Ma et al., 2011) مطابقت داشت. دقت این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، براساس آماره NRMSE، در

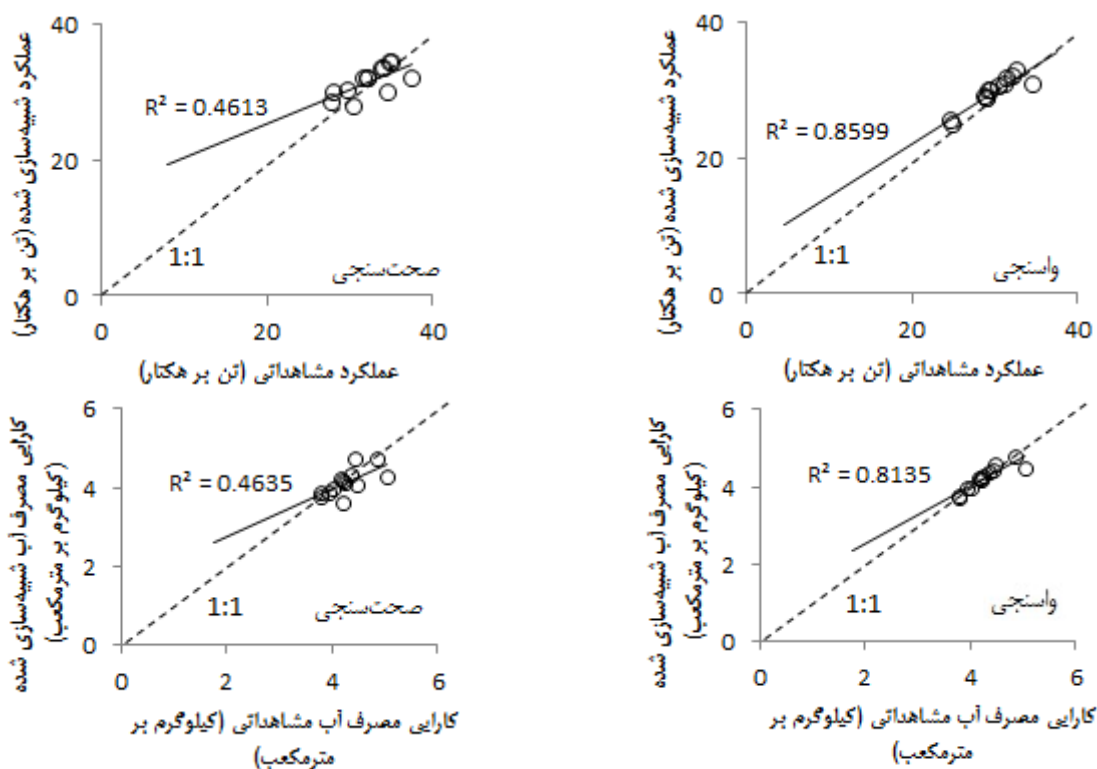
درجه عالی ($NRMSE < 0/1$) قرار داشت. براساس آماره‌ی EF، کارایی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد در بازه‌ی ۰/۶۹-۰/۷۷ متغیر بود. یان در تحقیقی در کشور هلند گزارش کرد که کارایی مدل SWAP در بازه‌ی ۰/۸۹-۰/۹۵ متغیر بود (Yan, 2015). در نتیجه، گرچه کارایی مدل SWAP در تحقیق حاضر قابل قبول بود لیکن نسبت به نتایج منتشر شده توسط یان کمتر بود (Yan, 2015). از طرف دیگر، کارایی این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد در مرحله واسنجی بهتر از مرحله صحت‌سنجی بود. نتایج به دست آمده برای کارایی مصرف آب نشان داد که این مدل در مرحله‌ی واسنجی دچار خطای بیش‌برآوردی ($MBE > 0$) و در مرحله‌ی صحت‌سنجی دچار خطای کم‌برآوردی ($MBE < 0$) شد. خطای مدل SWAP برای شبیه‌سازی کارایی مصرف آب در مرحله واسنجی برابر با ۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در مرحله صحت‌سنجی برابر با ۰/۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. دقت این مدل برای شبیه‌سازی کارایی مصرف آب

برای عملکرد و کارایی مصرف آب در شکل (۳) نشان داد که این نقاط در مرحله‌ی صحت‌سنجی و واسنجی به ترتیب در بالا و پایین خط ۱:۱ قرار داشتند. از این رو، عملکرد و کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده در مرحله‌ی واسنجی بیشتر از مقادیر مشاهداتی و در مرحله‌ی صحت‌سنجی کمتر از مقدار مشاهداتی بود. این نتایج با مقادیر به دست آمده‌ی از آماره‌ی MBE مطابقت داشت.

در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی عالی ($NRMSE < 0.1$) بود. کارایی مدل SWAP برای شبیه‌سازی این پارامتر در مرحله واسنجی بهتر از مرحله صحت‌سنجی بود. این نتایج براساس آماره‌ی R^2 نیز تأیید شد. مقدار آماره‌ی R^2 برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب در مرحله‌ی صحت‌سنجی به ترتیب ۴۵ و ۴۳ درصد نسبت به مرحله واسنجی کاهش یافت. همچنین مقایسه‌ی پراکنش نقاط

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی

D	EF	NRMSE	RMSE	MBE	پارامتر	مرحله شبیه‌سازی
۰/۹۹	۰/۶۹	۰/۰۵	۱/۴۲	۰/۲۳	عملکرد (تن بر هکتار)	واسنجی
۰/۹۹	۰/۷۷	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۰۴	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	واسنجی
۰/۹۹	۰/۱۶	۰/۰۷	۲/۳۶	-۰/۴۴	عملکرد (تن بر هکتار)	صحت‌سنجی
۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۳۳	-۰/۰۵	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	صحت‌سنجی



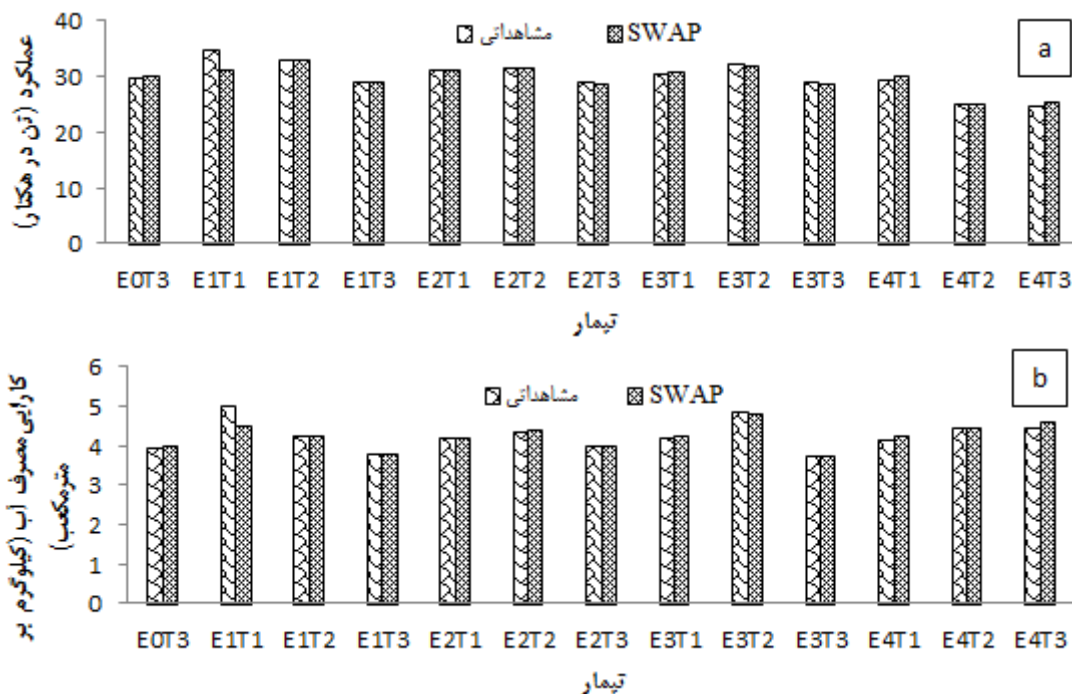
شکل ۳- همبستگی عملکرد و کارایی مصرف آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل SWAP

مشاهده شد. متوسط اختلاف بین کارایی مصرف آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برابر با ۳/۸ درصد بود. این نتایج نیز بیانگر دقت بالای مدل SWAP بود. علت آن، دقت مدل SWAP در شبیه‌سازی میزان جذب آب توسط ریشه در تیمارهای مختلف تأمین آب آبیاری است. متوسط اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای E0, E1, E2, E3 و E4 به ترتیب برابر با ۲/۳، ۴/۹، ۱/۳، ۲/۰ و ۷/۶ درصد بود. این اختلاف برای تیمارهای T1، T2 و T3 به

مقایسه تیمارهای مورد مطالعه در مرحله واسنجی در شکل (۴) نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۱۴/۲ درصد بود. متوسط اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی برابر با ۳/۸ درصد بود. این نتایج نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP در مرحله واسنجی به نتایج مشاهداتی نزدیک بود. نتایج مشابه برای کارایی مصرف آب نیز

تیمارها تنش آبی داشتند. همچنین اعمال تنش آبی در زمان‌های T1 و T2 قابل قبول بود.

ترتیب ۳/۱، ۳/۰ و ۵/۷ درصد بود. براساس این نتایج، بیشترین درصد خطا در شرایط تنش شدید آبی و در دوره سوم رشد گیاه سیب‌زمینی مشاهده شد. تیمارهای E0 و E2 و E3 خطای قابل قبولی در بین



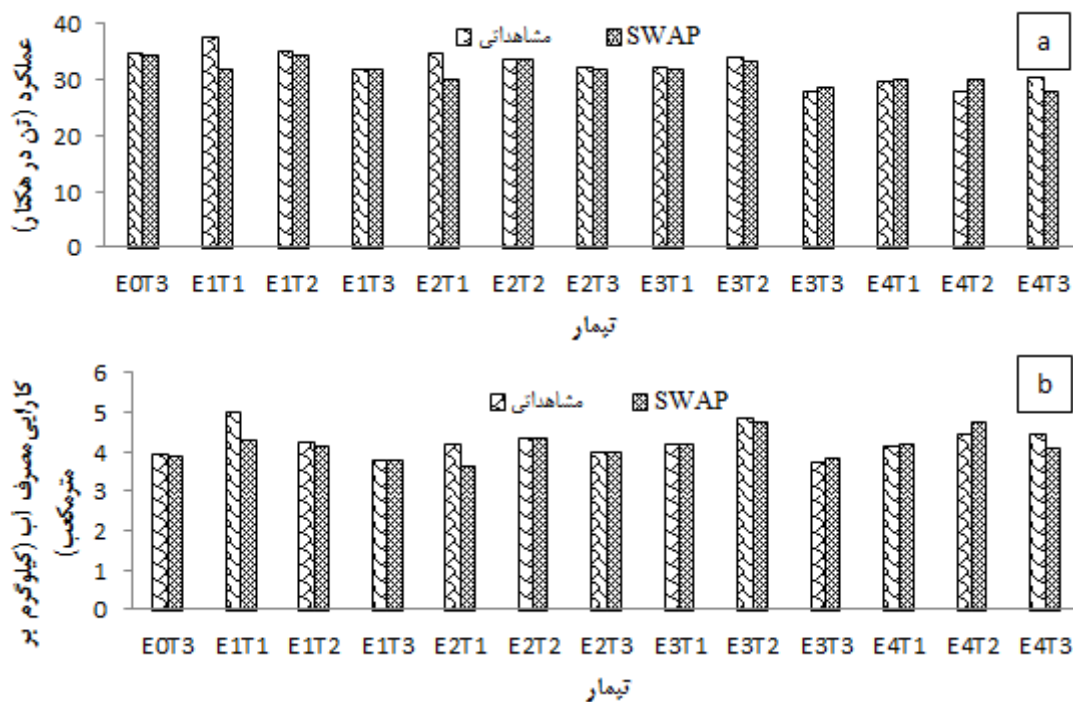
شکل ۴- مقایسه عملکرد (a) و کارایی مصرف آب (b) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل SWAP در مرحله واسنجی

گرفته شد. دامنه تغییرات عمق آبیاری برای شبیه‌سازی برابر با ۱۰ میلی‌متر بود لیکن به دلیل نزدیک بودن نتایج و پرهیز از شلوغی نتایج، نمودار عملکرد-کارایی مصرف آب در بازه‌های ۵۰ میلی‌متر نشان داده شدند. نتایج به دست آمده برای مرحله اول رشد در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، عملکرد سیب‌زمینی در این مرحله از رشد تا عمق ۷۵۰ میلی‌متر افزایش یافت. پس از عمق ۷۵۰ میلی‌متر، عملکرد سیب‌زمینی روند کاهشی نشان داد. با این وجود کارایی مصرف آب با افزایش عمق آبیاری روند کاهشی داشت. نتایج به دست آمده برای مرحله دوم رشد در شکل (۷) نشان داده شده است. در این مرحله، روند افزایشی عملکرد نسبت به عمق آبیاری مشاهده شد. اختلاف عملکرد بین دو عمق ۵۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر بسیار بیشتر از سایر عمق‌ها بود. این عمق به عنوان حد بحرانی برای اعمال کم‌آبیاری در نظر گرفته شد. زیرا براساس بسیاری از مطالعات، تنش‌های بیشتر از حد بحرانی سبب کاهش شدید عملکرد سیب‌زمینی می‌گردد (پرویزی، ۱۴۰۰).

نتایج عملکرد و کارایی مصرف آب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای مختلف در مرحله صحت‌سنجی در شکل (۵) نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۱۶/۰ درصد بود. متوسط اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برابر با ۵/۶ درصد بود. متوسط اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تیمارهای E0، E1، E2، E3، E4 به ترتیب برابر با ۱/۴، ۶/۷، ۴/۰، ۴/۱ و ۹/۱ درصد بود. متوسط اختلاف عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تیمارهای T1، T2، T3 به ترتیب برابر با ۷/۹، ۵/۵ و ۴/۵ درصد بود. در مرحله صحت‌سنجی، خطای شبیه‌سازی در مرحله اول رشد بیشتر از سایر مراحل بود. لیکن، در تنش آبی E4 بیشترین اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی مشاهده شد. این نتایج به صورت مشابه نیز برای کارایی مصرف آب مشاهده شد.

تعیین عمق مناسب آبیاری

براساس مدل واسنجی شده SWAP، عمق‌های مختلف آبیاری بررسی شدند. دامنه عمق آبیاری از ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر در نظر



شکل ۵- مقایسه عملکرد (a) و کارایی مصرف آب (b) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل SWAP در مرحله صحت‌سنجی

می‌کند که تنش آبی در دوره اول رشد سیب‌زمینی اثر کمتری نسبت به سایر دوره‌ها داشت. با توجه به اینکه تنش آبی در اکثر مناطق مورد کشت این محصول در کشور به دلایل مختلف اعمال می‌شود؛ و این عامل سبب کاهش وزن غده‌ها و در نتیجه عدم رغبت مشتریان به خرید این محصول می‌گردد (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳)؛ بهتر است توجه بیشتری به آبیاری سیب‌زمینی در دوره‌های دوم و سوم رشد آن گردد. همچنین برای افزایش کارایی مصرف آب، می‌توان کاهش آب آبیاری را در دوره اول رشد اعمال کرد.

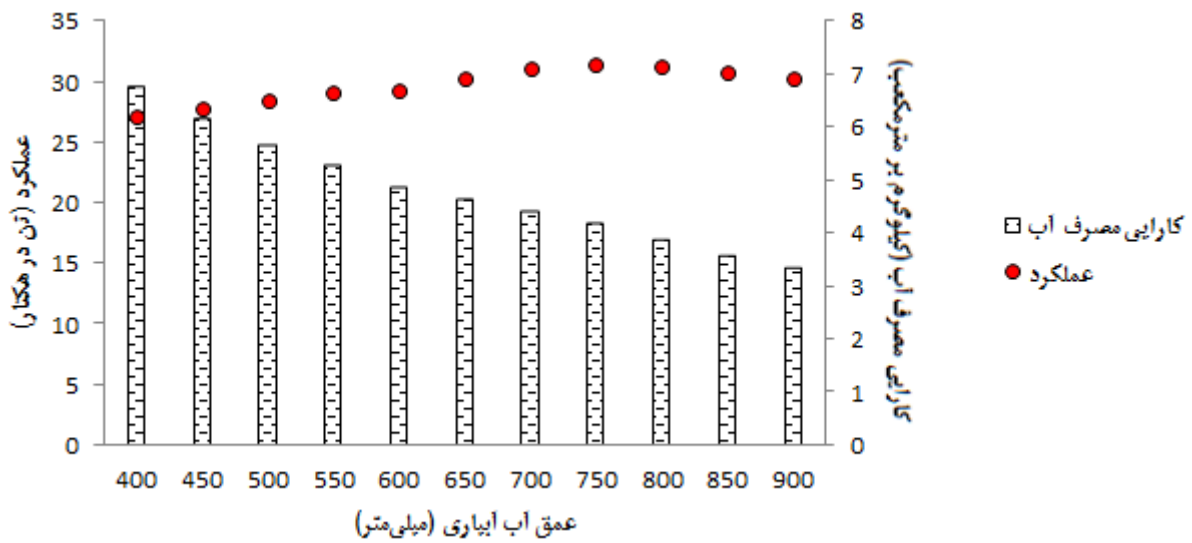
نتیجه‌گیری

این تحقیق برای ارزیابی مدل SWAP برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی در دو سال زراعی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل SWAP نسبت به داده‌های مورد استفاده ممکن است دچار خطای بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی شود. خطای این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی قابل قبول بود. مقادیر NRMSE نشان داد که مدل SWAP برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب در دسته عالی قرار داشت. با این وجود کارایی مدل SWAP در مرحله واسنجی بهتر از صحت‌سنجی بود. بررسی عمق مناسب برای دوره‌های اول، دوم و سوم رشد سیب‌زمینی با استفاده از مدل SWAP نشان داد که دوره دوم رشد حساسیت بیشتری به تغییرات عمق آب آبیاری داشت. دوره

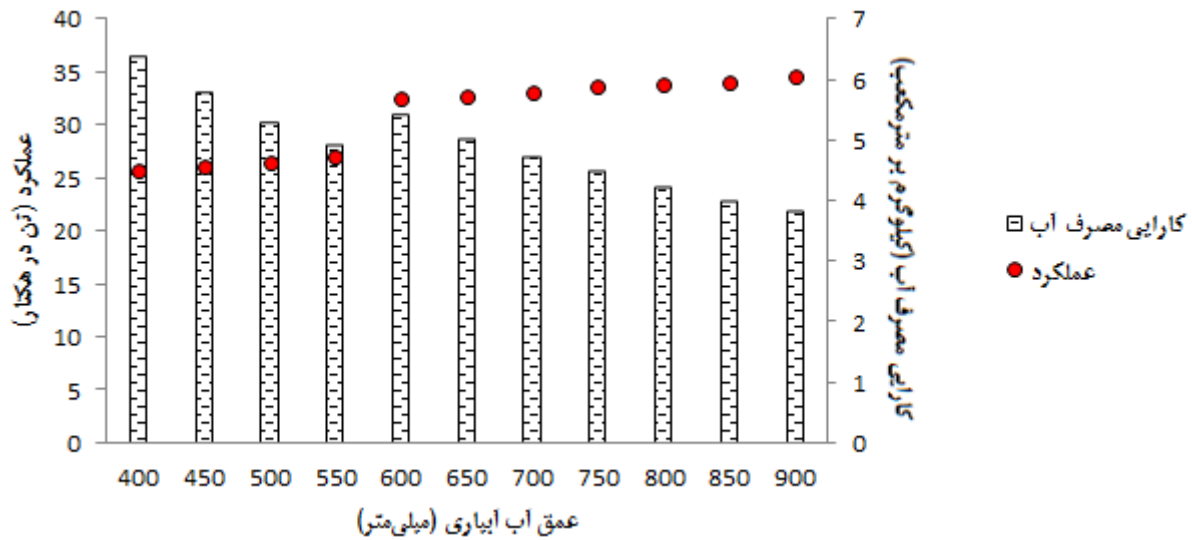
براساس این نتایج، کارایی مصرف آب تا عمق ۵۵۰ میلی‌متر روند کاهشی داشت ولی در عمق ۶۰۰ میلی‌متر روند صعودی نشان داد. با افزایش عمق آبیاری تا ۹۰۰ میلی‌متر، روند کاهشی در کارایی مصرف آب مشاهده شد. در دوره سوم رشد، روند صعودی عملکرد نسبت به عمق آب آبیاری تا عمق ۷۰۰ میلی‌متر کند بود ولی پس از آن با شدت بیشتری ادامه یافت. مقایسه عملکرد در سه دوره رشد برای عمق‌های یکسان آبیاری نشان داد که تغییرات دوره دوم رشد به عمق‌های مختلف آبیاری نسبت به سایر دوره‌ها بیشتر بود. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که اوایل دوره حجیم شدن غده‌ها جز حساس‌ترین مراحل رشدی سیب‌زمینی به کم‌آبیاری می‌باشد به طوری که 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؛ گلستانی کرمانی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرف دیگر، همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود اجرای کم‌آبیاری پس از تشکیل غده‌ها سبب کاهش تعداد آن‌ها نیز می‌گردد (گلستانی کرمانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Yuan et al., 2003; King et al., 2003). با وجود حساس بودن این گیاه به کمبود رطوبت، مقادیر بالای آن نیز با اثر گذاری 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). این نتایج بیان

اول رشد ۷۵۰ میلی‌متر و در دو دوره بعدی ۹۰۰ میلی‌متر آب آبیاری در نظر گرفته شود.

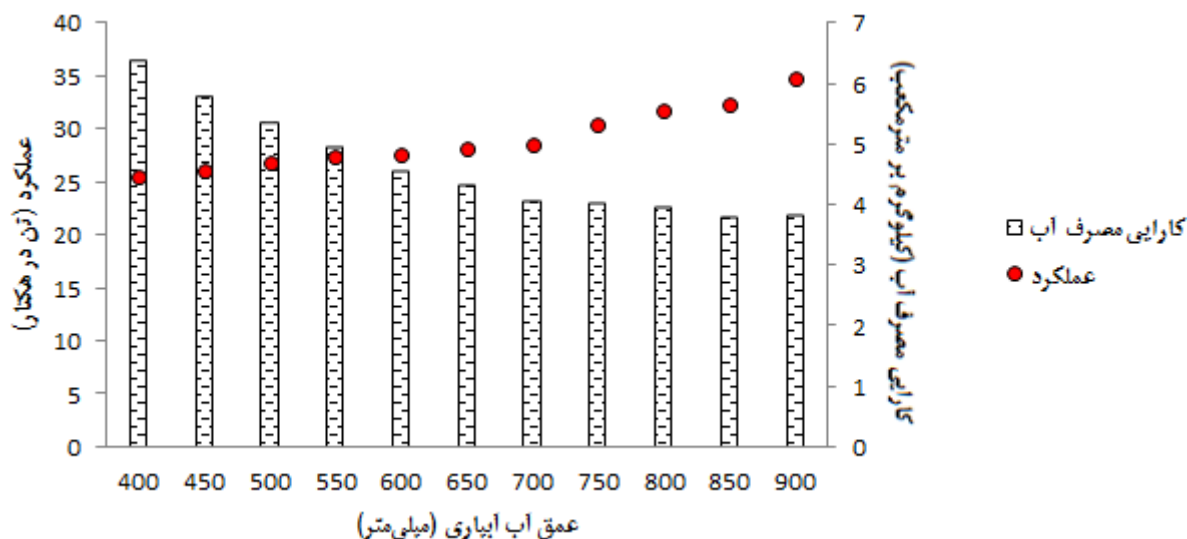
اول رشد اثرپذیری کمتری نسبت به دو دوره دیگر به عمق آب آبیاری داشت. براساس این نتایج، برای دستیابی به حداکثر عملکرد، در دوره



شکل ۶- مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب در عمق‌های مختلف آب آبیاری در دوره اول رشد



شکل ۷- مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب در عمق‌های مختلف آب آبیاری در دوره دوم رشد



شکل ۸- مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب در عمق‌های مختلف آب آبیاری در دوره سوم رشد

منابع

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

گلستانی کرمانی، س.، نوری امام‌زاده‌ئی، م.، شایان‌نژاد، م.، شاه‌نظری، ع. و محمدخانی، ع. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بخشی و سنتی در آبیاری قطره‌ای بر برخی از صفات سیب‌زمینی در شهرکرد. مجله پژوهش آب ایران. ۱۱(۲): ۱-۹.

بی‌نام، ۱۴۰۱، سالنامه‌های آماری کشاورزی، مرکز ملی آمار ایران. دسترسی در www.amar.org.ir

مساح‌بوانی، ع.، مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود، تحقیقات منابع آب ایران. ۱(۱): ۴۷-۴۰.

Amiri, E. 2017. Evaluation of water schemes for maize under arid are in Iran using the SWAP model. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48(16): 1963-1976.

Begum, M., Saikia, M., Sarmah, A., Ojah, N. J., Deka, P., Dutta, P. K. and Ojah, I. 2018. Water management for higher potato production: A review, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7(5): 24-33.

Bonfante, A. and Bouma, J. 2015. The role of soil series in quantitative land evaluation when expressing effects of climate change and crop breeding on future land use. Geroderma. 250-260: 187-195.

Bonfante, A., Basile, A., Acutis, M., Mascellis, R. De., Manna, P., Perego, A. and Terribile, F. 2010.

ابراهیمی‌پاک، ن. ع. ۱۳۹۳. تعیین ضریب واکنش عملکرد سیب‌زمینی نسبت به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد در شهرکرد. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران. ۴(۳): ۵۰-۳۹.

ابراهیمی‌پاک، ن. ع. و پذیرا، ا. ۱۳۸۷. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۹(۴): ۳۰-۱۷.

اسکندری، ع.، خزایی، ح. ر.، نظامی، ا. و کافی، م. ۱۳۹۰. مطالعه تأثیر رژیم آبیاری بر عملکرد و برخی از خصوصیات کیفی سه رقم سیب‌زمینی، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۲): ۲۴۷-۲۴۰.

آگدرنژاد، ا.، ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۵(۲-۱۰): ۶۴-۵۳.

بهراملو، ر. و ناصری، ا. ۱۳۸۹. تأثیرپذیری کارایی مصرف آب و عملکرد سیب‌زمینی رقم سانه از آبیاری محدود. نشریه آبیاری و زهکشی. ۱(۴): ۹۸-۹۰.

پرویزی، خ. ۱۴۰۰. تأثیر مواد سوپرچاذب رطوبتی و میکوریز بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری. مجله علوم باغبانی ایران. ۵۲(۳): ۶۱۷-۶۰۵.

رحیمی‌خوب، ح.، ستوده‌نیا، ع. و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۳. واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین.

نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۸): ۱۱۵-۱۰۸.

- Crop. Sci. 29: 1207-1211.
- Ma, Y., Feng, Sh., Huo, Z. and Song, X. 2011. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. *Mathematical and Computer Modeling*. 54(3-4): 1044-1052.
- Marutani, M. and Cruz, F. 1989. Influence of supplement irrigation on development of potato in the tropics. *Horticultural Science*. 24: 920-923.
- Shock, C. C. 2004. Efficient irrigation scheduling. Malheur Experiment Station, Oregon State University, Oregon, USA.
- Shock, C. C. and Feibert E. B. G. 2002. Deficit irrigation on potato. In *Deficit irrigation practices*. FAO. Rome. pp:47-56.
- Van Dam, J. C., Huygen, J., Wesseling, J. G., Feddes, R. A., Kabat, P., van Walsum, P. E. V., Groenendijk, P. and van Diepen, C. A. 1997. Theory of SWAP Version 2.0, Report #71. Department of Water Resources, Wageningen Agricultural University, 167 pp.
- Yan, Y. 2105. Application of SWAP-WOFOST to evaluate the influence of water and oxygen stress on potato yield in a Dutch farm, MSc Thesis, Plant Production System, and Wageningen University. 61 pp.
- Yuan, B. Z., Nishiyama S. and Kang Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip- irrigated potato. *Agricultural water Management*. 63: 153-167.
- SWAP, CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in northern Italy. *Agricultural Water Management*. 97(7): 1051-1062.
- 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>].
- Geerts, S., and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*. 96: 1275-1284.
- Hassan, A. A., Sarkar A. A., Ali M. H. and Karim N. N. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stage on the yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 5(2):128-134.
- Jonubi, R., Rezaverdinejad, V. and Salemi, H. 2017. Enhancing field scale water productivity for several rice cultivars under limited water supply. *Paddy and Water Environment*. 16(1): 125-141.
- King, B., Stark, J. and Love, S. 2003. Potato production with limited water supplies. Idaho Potato Conference. January 22.
- Kiziloglu, F. M., Sahin, U., Tune, T. and Diler, S. 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 Tai, G. C. 1989. Yield and yield component response of eight potato to water stress.

Evaluation of SWAP for Simulation of Potato and Determination of Adequate Irrigation Depth

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

Received: Jul.08, 2021

Accepted: Apr.11, 2022

Abstract

Potato is the fifth largest food source in the world, which is widely cultivated in Iran. Due to the sensitivity of this crop to the amount of irrigation water, it is necessary to investigate the effect of different amounts of irrigation on it. For this purpose, SWAP model was used as a powerful tool for potato simulation. At first, to evaluate this model, biennial data (1998-1999) collected from a research station in ChaharTakhteh, Shahrekord were used. These data include five levels of water stress (E0, E1, E2, E3 and E4, respectively, indicating 100, 85, 70, 50 and 30% water supply) and three stress application times (T1, T2, and T3 indicating 50, 100, and 150 days after sowing, respectively). NRMSE values for yield and water use efficiency showed that SWAP model in both calibration and validation were excellent ($NRMSE < 0.1$). The error of this model for simulating yield in the calibration and validation stages was equal to $1.42 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (4.6 percent) and $2.36 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ (7.2 percent), respectively. The error value of this model for water consumption efficiency in the mentioned two stages was $0.04 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (4.9%) and $0.33 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (7.7%), respectively. The efficiency of the SWAP for potato simulation during calibration and validation was acceptable. Potato irrigation planning using SWAP showed that to achieve maximum yield, the irrigation water depth in the first growing period is equal to 750 mm and irrigation depths are 900 mm in subsequent periods.

Key words: Irrigation water depth, SWAP model, Water Stress, Water use efficiency

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 Engineering and Sciences, 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 Email: a_eigder@ymail.com)