نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد یازدهم، شماره ۴(۴۴)، زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۷۷۴-۷۵۹

ارزیابی عکس‌العمل ذرت دانه‌ای به مدیریت کم آبیاری با استفاده از مدل SWAP

ابراهیم امیری[1*] و فهیمه شیرشاهی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۶ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

چکیده

به‌منظور بررسی عکس‌العمل رقم هیبرید ذرت دانه‌ای (سینگل‌کراس ۲۶۰) تحت شرایط تیمارهای آبیاری قطره‌ای در استان فارس در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، آزمایشی در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز انجام گرفت. چهار سطح آبیاری به‌ترتیب ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی در نظر گرفته شدند و آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. از داده‌های اندازه گیری شده شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، عملکرد دانه و بیوماس کل در سال ۱۳۹۰ برای واسنجی و در سال ۱۳۹۱ برای صحت سنجش مدل سواپ (SWAP) استفاده شد. نتایج نشان داد که روند کلی تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل در مدیریت‌های مختلف آبیاری بر روند تغییرات عملکرد به‌دست آمده در مزرعه مطابقت دارد. با مقادیر برآورد شده شاخص‌های آماری، ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹، آزمون تی بزرگ‌تر از ۰/۰۵ و مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) بین ۱/۹ تا ۶/۹، کارآیی خوب مدل سواپ (SWAP) در برآورد عملکرد دانه و بیوماس کل به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: آبیاری قطره‌ای، ذرت دانه‌ای، شیراز، عملکرد، SWAP.

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران.
۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اراک، ایران.
* نگارنده‌ی مسئول eamiri57@yahoo.com

مقدمه

با مشکلات موجود در جامعه کشاورزی بایستی از منابع موجود به منظور رسیدن به بهترین عملکرد محصول تولیدی استفاده کرد و بررسی نمودن اثرات یک تصمیم مدیریتی و زراعی در مزرعه تنها به‌وسیله آزمون و خطاهای مزرعه‌ای جز از بین بردن وقت، هزینه و منابع موجود دست‌آوردی نخواهد داشت. امروزه بشر با استفاده از امکانات رایانه‌ای توانسته است بسیاری از پدیده‌ها را با شبیه‌سازی آسان‌تر از گذشته بررسی نماید. مدل‌ها در واقع محدودیت موجود در تحقیقات صحرایی را کاهش داده و به‌عنوان ابزاری مفید و قدرتمند برای ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت آبیاری شناخته شده‌اند. دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی جهت شبیه‌سازی رشد گیاهان، تبخیر-تعرق و مدیریت آب خاک توسط پژوهشگران توسعه داده شده است. این مدل‌ها در مدیریت کشاورزی نوین نقش غیرقابل انکاری بر عهده دارند. یکی از این مدل‌ها، مدل سواپ (SWAP[1]) می‌باشد. توانایی این مدل در تحقیق‌های سراسر جهان مورد بررسی قرار گرفته است و به‌منظور مدیریت آب و آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است.

شیرشاهی و همکاران (Shirshahi *et al.*, 2014) در تحقیقی به‌منظور برآورد عملکرد دانه و ارزیابی کارآیی مصرف آب از مدل اگروهیدرولوژیک SWAP استفاده نموده‌اند. بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ۱۰ سال از ۱۳۷۹تا ۱۳۸۹ شامل RMSE و RMSEn که به‌ترتیب ۲۳۴کیلوگرم در هکتار و پنج درصد گزارش شده‌اند، مدل SWAP عملکرد محصول را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی نموده‌است. همچنین، کریمی گوغری و اسدی (Karimi goghari and Asadi, 2012) در کرمان با آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در آن تیمارهای آبیاری شامل ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۳ رقم ذرت در دو سال که ضریب همبستگی بین داده-های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد در دو سال آزمایش به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۹۸ و برای شاخص سطح برگ به‌ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۷ بود نتیجه گرفته‌اند که مدل SWAP دقت کافی در برآورد در سطح مزرعه را دارد و از این مدل می-توان برای مدیریت آبیاری در مزرعه استفاده کرد. تحقیقی توسط وردی‌نژاد و همکاران (Verdinejad *et al.*, 2010) در ایستگاه تحقیقات زهکشی رودشت اصفهان بر روی شش محصول عمده منطقه شامل گندم، جو، پنبه، آفتابگردان، پیاز و چغندرقند تحت سه دو تیمار آب‌شویی (به‌ترتیب بدون آب‌شویی و آب‌شویی بر اساس ۷۵ درصد عملکرد محصولات) برای کل فصل زراعی در چهار تکرار به‌صورت طرح آماری بلوک کامل تصادفی انجام گردیده است. مقدار R^2 گندم (۰/۹۰۳)، چغندرقند (۰/۸۸۷)، پیاز (۰/۹۸۲)، جو (۰/۹۵۱)، پنبه (۰/۹۲۱) و آفتابگردان (۰/۸۷۷) به‌دست آمده است. نتایج حاکی از دقت بالای مدل SWAP در برآورد شاخص‌های عملکرد محصولات در منطقه بوده است. خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2006) از مدل SWAP2.07 در برآورد عملکرد چغندر تحت شرایط کمیت و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری، در استان خراسان رضوی استفاده کردند. برای ایجاد نتایج حاکی از تطابق خوب مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده بود به طوری که مقدار عمق آبیاری اندازه‌گیری شده و

۱- Soil Water Atmosphere Plant

شبیه‌سازی شده هر دو ۹۵۰ میلی‌متر بوده است. مقدار ضریب همبستگی ۰/۸۳ بوده و مدل عملکرد چغندر را ۱۰٪ کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده تخمین زده بود. سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2006) در هندوستان نشان دادند که مدل SWAP به‌دلیل قابلیت شبیه‌سازی حرکت آب و املاح و رشد محصول یک ابزار مدیریتی مناسب در برنامه‌ریزی و مدیریت آب در مزرعه است. روتر و همکاران (Rötter *et al.*, 2012) با بررسی و مقایسه ۹ مدل گیاهی برای جو به این نتیجه رسیدند که WOFOST در رتبه سوم از لحاظ دقت در برآورد عملکرد محصول در مقابل DSSAT- DAISY, CROPSYST, APESACE, MONICA, CERES, FASSET, HERMES, STICS را داراست. بررسی سابقه به کارگیری مدل SWAP نشان داد، که مدل برای شبیه‌سازی رشد گیاه از قابلیت مطلوبی برخوردار است. ارزیابی توانایی مدل در برآورد عملکرد در شرایط محدودیت آب به‌عنوان یکی از شرایط معمول در بسیاری از اراضی فاریاب ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به مزایای اقتصادی سیستم‌های آبیاری تحت فشار، کشاورزان مشتاق به تغییر سیستم آبیاری خود از شیوه سطحی و سنتی به سیستم‌های آبیاری تحت فشار هستند تا بتوانند از منابع آبی خود حداکثر استفاده را برای کشاورزی ببرند (Wen *et al.*, 2015). اگرچه اطلاعات در مورد اثر سیستم آبیاری تحت فشار در دوره رشد و مصرف آب محدود است. بنابراین شبیه‌سازی رژیم‌های مختلف آبیاری تحت فشار برای گیاهان مختلف و ارزیابی اثر این شیوه از آبیاری بر عملکرد گیاه در دوره رشد ضروری است (Xue and Ren, 2016).

تعدادی تحقیق به‌منظور تعیین رژیم آبیاری مناسب برای آبیاری تحت فشار در گیاهان مختلف انجام شده است و به ارزیابی میزان آب آبیاری مناسب، عملکرد گیاه و شاخص‌های مختلف مدیریت آب از طریق مدل‌سازی پرداخته شده است (Djaman *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2015; Sezen *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2006; Singh and Singh, 1996; Wang *et al.*, 2015; Wen *et al.*, 2015).

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی مدل SWAP برای شبیه‌سازی عکس العمل ذرت دانه‌ای به مدیریت آبیاری برای اجزای مختلف گیاهی شامل ماده خشک اندام زایشی، بیوماس کل، بیوماس روز برداشت و شاخص سطح برگ در شیراز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این تحقیق در مزرعه آموزشی- تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹درجه و ۳۳ دقیقه و ارتفاع از سطح دریای ۱۸۱۰ متر در دو سال زراعی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در قطعه‌زمینی با مساحت ۳۰۰۰ متر مربع اجرا شد. رقم هیبرید جدید زودرس ذرت دانه‌ای(سینگل‌کراس۲۶۰) مناسب برای کشت دوم در مناطق معتدل و معتدل سرد کشور بعد از برداشت گندم در مناطقی مثل: استان فارس (شیراز و مرودشت)، استان‌های اصفهان، خراسان و کرمانشاه می‌باشد. آزمایش بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گردید، کاشت هر دو سال ۱۵ تیر ماه انجام شد. تعداد کرت در هر بلوک ۱۶ عدد، تعداد خط در هر کرت ۶ و طول هر خط ۶ متر به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها با تراکم ۷ بوته در متر مربع با توجه به درصد قوه نامیه، خلوص فیزیکی و وزن هزار دانه در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از

نفوذ آب از پلات‌های تحت آبیاری به سایر پلات‌ها، ۱/۵ متر فاصله بین پلات‌ها و فاصله بین تکرارها نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. آبیاری کلیه کرت‌ها به‌صورت قطره‌ای با استفاده از نوارهای پلاستیکی (Tape) و حجم آب ورودی به کرت‌ها با استفاده از کنتور محاسبه و تنظیم شد. جهت تعیین رطوبت خاک برای برنامه‌ریزی آبیاری با نمونه‌برداری به‌صورت روزانه از خاک به‌وسیله مته نمونه‌برداری (آگر) درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری به‌دست آمد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد، تیمارهای آزمایشی به‌ترتیب ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه مجاز بودند.

مدل SWAP: مدل SWAP دو الگوریتم برای شبیه‌سازی دوره رشد دارد. اولی الگوریتم دورنبوس و کسام (Doorenbos and Kassam, 1979) و دومی الگوریتم پیشرفته (WOFOST) می‌باشد، الگوریتم ساده فقط قادر به شبیه‌سازی عملکرد نسبی ولی الگوریتم پیشرفته قادر به شبیه‌سازی بیوماس پتانسیل و واقعی و نیز عملکرد پتانسیل و واقعی دانه می‌باشد. در الگوریتم پیشرفته، نرخ رشد بیوماس با محاسبه جذب و ماده‌سازی ناخالص پوشش سبز (A_{pgross}) در شرایط بهینه صورت می‌گیرد. فرم این تابع نمایی می‌باشد (Supit *et al.*, 1994).

$$A_{pgross} = A_{\max}\left(1-\exp\left(\frac{-\varepsilon_{PAR}\times PAR_{L.a}}{A_{\max}}\right)\right)$$

که در آن A_{max} حداکثر جذب دی‌اکسید کربن ($Kg.CO_2.ha^{-1}.d^{-1}$)، ε_{PAR} شیب در مبدا یا راندمان مصرف نور ($Kg.CO_2.J^{-1}$)، $PAR_{L.a}$ شدت تشعشع جذب شده توسط پوشش سبز در عمق L ($J.m^{-2}.d^{-1}$). راندمان مصرف نور شاخصه فرآیندی بیوفیزیکی بوده و تابعی از نوع گیاه (C_3 یا C_4) و دما است. در مدل عملکرد بیوماس از محاسبه می‌شود (Supit *et al.*, 1994).

$$Y = C_e \sum_{t=1}^{N}\left(\frac{30}{44}TT_p^{-1}(t)A_{pgross}(t) - R_m(t)\right)$$

TT_p^{-1} پارامتری برای کمی کردن تثبیت ناخالص واقعی به دلیل تنش ماندابی، شوری، خشکی و یا یخبندان، R_m نرخ تنفس گیاه ($Kg.ha^{-1}.d^{-1}$)، N طول دوره رشد گیاه، C_e متوسط فاکتور تبدیل ریشه، ساقه، دانه و برگ ($Kg.Kg^{-1}$) می‌باشد. کل بیوماس تولیدی بین اندام‌های گیاه و براساس ضرایب تبدیلی تقسیم می‌گردد (Verdinejad *et al.*, 2010).

در بخش توسعه فنولوژیکی، کل دوره رشد گیاه ذرت را به دو بخش تقسیم می‌کند: ۱- دوره رویشی: از جوانه‌زنی تا زمان گلدهی و ۲- دوره زایشی: از گلدهی تا زمان رسیدگی فنولوژیکی که از اصول مجموع درجه حرارت برای تخمین یا تعیین سرعت استفاده می‌کند (van Dam *et al.*, 1997). در طول آزمایش با توجه به اطلاعات ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل پارامترهای شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک برگ، ساقه و کل طی ۶ مرحله مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بدین ترتیب که از کرت به‌طور تصادفی ۵ بوته برداشت شده، سپس نمونه‌ها را در دستگاه آون قرار داده و پس از گذشت ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس، تجمع ماده خشک با توزین هر یک از نمونه‌ها به‌دست آمد. به‌منظور محاسبه شاخص سطح برگ به‌وسیله خط‌کش طول و عرض هربرگ اندازه‌گیری شد، سپس با هم ضرب و در عدد ۰/۷۵ ضرب گردید تا سطح برگ به‌دست آید.

پارامترهای واسنجی مدل گیاهی در جدول ۱ ارایه شده است. شرایط مرزی لایه سطحی نیز با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی و میزان آبیاری تعیین می‌شود. داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای اجرای این تحقیق داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و میزان بارندگی و همچنین تشعشع خورشیدی است. به علت پایین بودن سطح ایستابی زهکشی آزاد به‌عنوان شرایط مرزی پایین دست منظور گردید. از خاک قطعه زمین مورد کشت در هر دو سال ۱۰ نمونه تهیه شد و جهت آنالیز به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید. ضرایب توابع هیدرولیکی خاک از طریق توابع هیدرولیکی (Wösten *et al.*, 1998) برآورد گردید. در جدول پارامترهای هیدرولیکی خاک آورده شده‌اند.

واسنجی و صحت سنجی مدل و شاخص‌های ارزیابی: عمل واسنجی و صحت سنجی براساس مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول فصل در طی دو سال استفاده شد. بدین شکل که داده‌های اندازه‌گیری شده سال اول برای واسنجی و داده‌های اندازه‌گیری شده سال دوم برای صحت سنجی استفاده شد. برای ارزیابی مدل از شاخص‌های RMSE[1] و $RMSE_n$ و ME[2] استفاده شد. RMSE سنجه‌ای از مربع انحرافات است یعنی از میانگین خطاها جذر گرفته می‌شود و نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات چقدر است.

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

$$RMSE_n = 100\ (\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2 / n)^{0.5}) \Big/ \overline{O}$$

$$ME = 100\ (\frac{P_i - O_i}{O_i})$$

در این روابط P_i مقدار برآورد شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده $\overline{O}$ مقدار میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد. آزمون تی و مقادیر ضریب تبیین (R^2) نیز در نظر گرفته شدند. اگر نتیجه آزمون تی P(t) بیشتر از ۰/۰۵ باشد می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیست (Amiri *et al.*, 2009).

نتایج و بحث

واسنجی مدل: پس از تکمیل اطلاعات ورودی، مدل SWAP برای سال زراعی اول یعنی سال ۱۳۹۰ اجرا شد. عمل واسنجی براساس مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول فصل رشد و عملکرد دانه، بیوماس کل در روز برداشت، در سال اول استفاده شد. در شکل ۱ تا شکل ۳ نتایج روند شبیه‌سازی شاخص سطح برگ و ماده خشک توسط مدل SWAP ارایه شده است. در جدول ۳ مقادیر مربوط به پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای نتایج طول دوره رشد قرار گرفتند. مقدار جذر میانگین مربع خطا در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در مرحله واسنجی ۲، ماده خشک اندام زایشی ۸۵۷، کل ماده خشک تولیدی ۲۲۴۱ کیلوگرم بر هکتار است. مقادیر جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای شاخص سطح برگ ۷۱، ماده خشک اندام زایشی در این مرحله ۱۲ و کل ماده خشک تولیدی ۲۸ درصد می‌باشد.

ارزیابی مدل: برای اطمینان از دقت نتایج بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول فصل رشد و عملکرد دانه، بیوماس کل در روز برداشت در سال دوم

۱ -Root Mean Square Error
۲ -Model Error

(سال ۱۳۹۱) صحت سنجی انجام شد. مقدار جذر میانگین مربع خطا در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ۱، ماده خشک اندام زایشی ۱۱۹۳ و کل ماده خشک تولیدی در مرحله ۱۳۳۰ کیلوگرم بر هکتار است. مقادیر جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای شاخص سطح برگ ۳۲، ماده خشک اندام زایشی ۱۷ و کل ماده خشک تولیدی ۴۱ درصد می‌باشد.

با توجه به شکل‌های ۱ و ۲، مدل مقادیر شاخص سطح برگ را در دوره رشد و به خصوص برای دوره جوانی گیاهچه بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شبیه‌سازی کرده است. علت آن را می‌توان استفاده از مقادیر ثابت سطح ویژه برگ، که پارامتر تعیین کننده برای شبیه‌سازی شاخص سطح برگ توسط مدل است، دانست. مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ برای سنین مختلف گیاهچه متفاوت بودند. به‌طورکلی، شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بالاتر از مقادیر اندازه-گیری شده برای گیاهچه در طول فصل رشد بودند و بهترین حالت برای گیاهچه‌ها در انتهای فصل رشد مشاهده شد. مشکلات نسبی در مدل‌سازی شاخص سطح برگ به خوبی شناخته شده است و خطاهای شبیه‌سازی برای مدل در تحقیق‌های دیگر نیز گزارش شده است. برای مثال مدل وفوست توسط روتر و همکاران (Rotter *et al.*, 1998) و امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2010) استفاده شد که برآوردی بالاتر از مقادیر اندازه-گیری شده دارد. البته مدل به شکل کلی تطابق خوبی در تخمین شاخص سطح برگ دارد. زو و همکاران (Xue *et al.*, 2016) در تحقیقی بر سه گیاه غالب در یکی از شبکه‌های آبیاری در چین حداکثر RMSEn را کمتر از ۲۵٪ گزارش نموده-اند. همچنین، جیانگ و همکاران (Jiang *et al.*, 2015) که مدل SWAP را به یک مدل مدیریت مزرعه به نام EPIC لینک نموده‌اند با اجرای مدل به شکل توزیعی میزان $RMSE_n$ را برای تخمین LAI در سه محصول مورد بررسی را کمتر از ۲۵٪ گزارش کرده‌اند که حاکی از تطابق قابل قبول مابین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است.

علی‌رغم بیش برآورد شاخص سطح برگ، شکل ۳ و شکل ۴ و نتایج ارزیابی آماری حاکی از دقت قابل قبول مدل در برآورد بیوماس کل و بیوماس دانه است، زیرا در شاخص سطح برگ زیاد، اغلب میزان تابش محدود شده و افزایش شاخص سطح برگ به فتوسنتز کانوپی بیشتر منجر نشده است، شبیه‌سازی بیشتر شاخص سطح برگ توسط مدل‌های مختلف نظیر WOFOST (Amiri *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. مدل SWAP دوره رشد را برای تمامی گیاهان به دو مرحلهٔ قبل و بعد از گلدهی تقسیم می‌کند و تا گیاه به دوره گلدهی نرسد از ماده خشک تولیدی درصدی را به اندام ذخیره‌ای اختصاص نمی‌دهد. لذا این محدودیت مدل نه تنها باعث می‌شود که شبیه‌سازی عملکرد در طول دورهٔ رشد بر نتایج واقعی منطبق نباشد، بلکه در پایان فرآیند شبیه-سازی نیز نسبت وزن خشک دانه به وزن خشک کل گیاه کم برآورد شود. خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2006) نیز در تحقیقی بر چغندرقند به این نکته اشاره نموده‌اند.

با توجه به شکل ۳ و شکل ۴ می‌توان دریافت که روند رشد شبیه‌سازی شده توسط مدل به خوبی با روند رشد گیاهی تطابق دارد. نتایج پژوهش خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2006) تاییدی بر تطابق روند عملکرد شبیه‌سازی شده در طول دوره رشد با مقدار اندازه‌گیری را تایید می-

کنند. نتیجه ارزیابی عملکرد دانه و بیوماس کل شبیه‌سازی شده توسط مدل در شکل ۵ و شکل ۶ حاکی از شبیه‌سازی با دقت قابل قبول است. نتایج تحلیل آماری به تفکیک سال‌ها در جدول ۴ ارایه شده است. در جدول ۴ مقدار RMSE در هر دو مورد و هر دو سال از مقدار انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای کمتر است و نشان‌دهنده کارکرد مطلوب مدل در هر دو سال مورد مطالعه می‌باشد. این مشابه نتایج گزارش شده توسط زو و همکاران (Xu *et al*., 2013) است.

حداکثر RMSEn برابر ۹/۶ می‌باشد و مقدار P(t) در تمام موارد بیشتر از ۰/۰۵ است. خطای نسبی مدل (ME) بین ۱/۲ و۹/۶- می‌باشد که همگی این نتایج دلالت بر قابل قبول و قابل استناد بودن شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل ذرت دانه‌ای توسط مدل می‌باشد.

برای عملکرد دانه به‌ترتیب در مرحله واسنجی مقدار جذر میانگین مربعات خطا ۷۷۲ - و در مرحله اعتبار سنجی ۳۹۲ کیلوگرم بر هکتار، RMSEn در واسنجی ۹/۶ و در مرحله اعتبارسنجی ۵ درصد بوده است. مقدار خطا در مرحله اعتبارسنجی کاهش یافته که دلیلی بر قبول نتایج مدل می‌باشد (Dehghan *et al*., 2011). این مقدار خطا در مقایسه با تحقیقات پیشین قابل پذیرش می‌باشند. کریمی گوغری و اسدی (Karimi goghari and Asadi, 2012) مقدار ضریب تبیین را برای ذرت برای واسنجی و صحت سنجی به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸ به‌دست آوردند که نشان از کارآیی بسیار مطلوب مدل در شبیه‌سازی عملکرد است.

شکل مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده‌ی بیوماس کل و عملکرد می‌باشد که حاکی از همبستگی خوب بین داده‌های اندازه-گیری و شبیه‌سازی شده می‌باشد. نتایج حاصل از هر دو سال دلالت بر شبیه‌سازی مطلوب عملکرد دانه و بیوماس کل ذرت دانه‌ای دارد.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی هر مدل مستلزم اجراهای مختلف مدل و تغییر ضرایب مؤثر بر خروجی‌ها است. استفاده از این ضرایب باعث می‌شود که نتایج حاصله متناسب با شرایط اقلیمی-زراعی منطقهٔ مورد مطالعه باشد. با توجه به تغییرات عوامل متعدد در شرایط مزرعه‌ای، به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت که نتایج در شبیه‌سازی عملکرد با واسنجی مدل SWAP با در نظر گرفتن تحلیل-های آماری ارایه شده، مطلوب می‌باشد. به جز شاخص سطح برگ، روند شبیه‌سازی دیگر خصوصیات گیاهی بر مقدار اندازه‌گیری شده تطابق خوبی داشت. اختلاف بین عملکرد محصول اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل کمتر از ۱۰ درصد محاسبه شد. علت دقت پایین مدل در برآورد شاخص سطح برگ، ثابت در نظر گرفته شدن سطح ویژه برگ در طول دوره رشد در مدل است که به‌منظور بالا بردن دقت مدل در این بخش توصیه می‌شود مدل در زیر بخش شبیه‌سازی سطح برگ ارتقا یابد.

جدول ۱ -پارامترهای گیاهی مورد استفاده در ارزیابی مدل

Table1- Model assessment crop parameters

پارامتر Parameter	**ذرت دانه‌ای** Maize
دمای تجمعی از مرحله سبزینگی تا گلدهی TSUMEA, (°C)	793
دمای تجمعی از مرحله گلدهی تا رسیدگی TSUMAM, (°C)	996
سطح ویژه برگ S_{la}	0.035
حداکثر افزایش نسبی در سطح برگ RGRLAI ($m^2m^{-2}d^{-1}$)	0.029
ضریب جذب نور Kgr	0.37
راندمان مصرف نور ε ($kg\ ha^{-1}hr^{-1}/Jm^2s^{-1}$)	0.4
حداکثر میزان همانند سازی دی اکسید کربن Amax($kg\ ha^{-1}hr^{-1}$)	86

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک

Table 2- Physical and hydraulic soil properties

لایه‌ها Layers (cm)	**خصوصیات فیزیکی خاک** Physical soil properties			**خصوصیات هیدرولیکی خاک** Hydraulic soil properties					
	بافت Texture	**سیلت** (٪) Silt	**رس** (٪) Clay	θ_{res} (cm^3cm^{-3})	θ_{sat} (cm^3cm^{-3})	K_{sat} ($cm\ day^{-1}$)	α (cm^{-1})	λ (-)	n (-)
0-30	Loam	40	12	0.01	0.42	20	0.0084	1.522	1.0012
30-60	Loam	40	12	0.01	0.42	20	0.0074	1.523	1.26

رطوبت باقیمانده = θ_{res}، رطوبت اشباع خاک = θ_{sat}، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک= K_{sat}، α و n= ضرایب تجربی

n = K_{sat} ،saturated Hydrolic conductivity ،α و Saturated Soil moisture = θ_{sat} ، residential moisture = θ_{res} experimental Coefficient

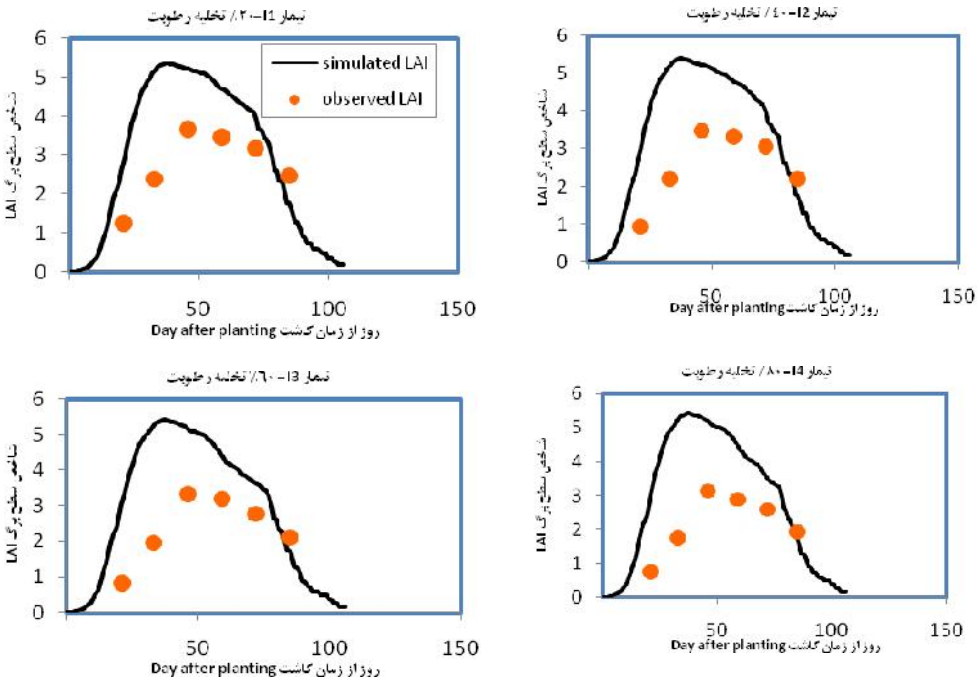
جدول ۳ -ارزیابی آماری شاخص های گیاهی

Table 3- Statistical assessment of crop indices

	n			RMSE			$RMSE_n$			R^2		
	LAI	CWSO	CWDM	LAI	CWSO	CWDM	LAI	CWSO	CWDM	LAI	CWSO	CWDM
واسنجی Calibration	24	8	28	2	857	2241	71	12	28	0.47	0.5	0.9
صحت سنجی Validation	24	8	28	1	1193	1330	32	17	41	0.7	0.6	0.9

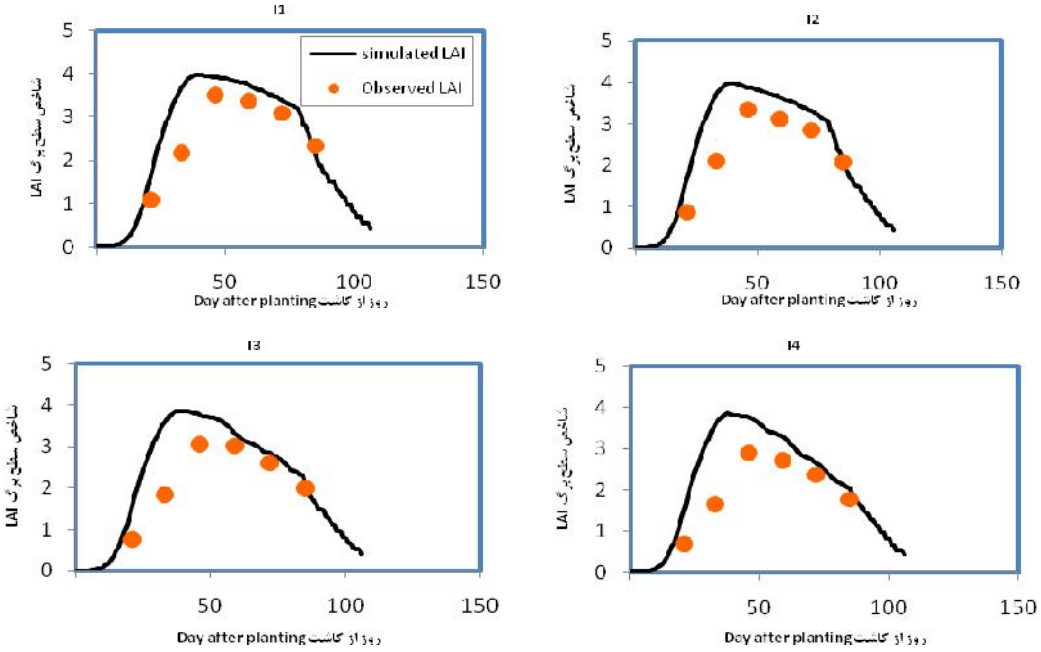
n=تعداد نمونه، LAI= شاخص سطح برگ، CWSO= ماده خشک اندام زایشی، CWDM= ماده خشک کل

n= number of samples, LAI= Leaf Area Index, CWSO= Dry weight of reproductive organs, CWDM= Total dry matter



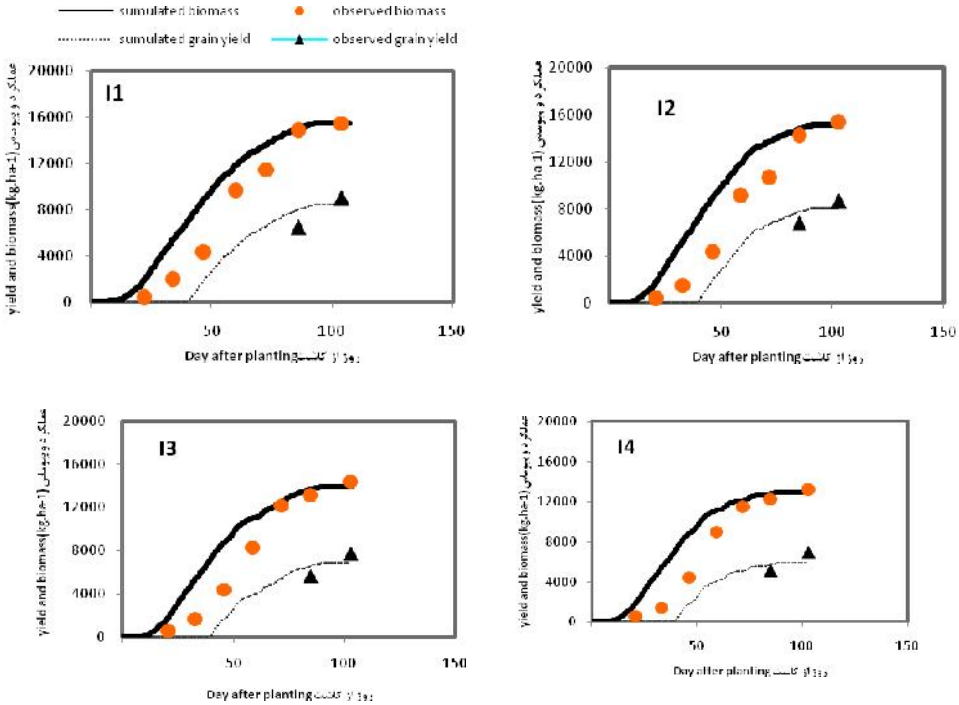
شکل ۱- ارزیابی شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در مرحله واسنجی در طول دوره رشد

Figure 1- Assessing of LAI simulation in calibration step during the growth period



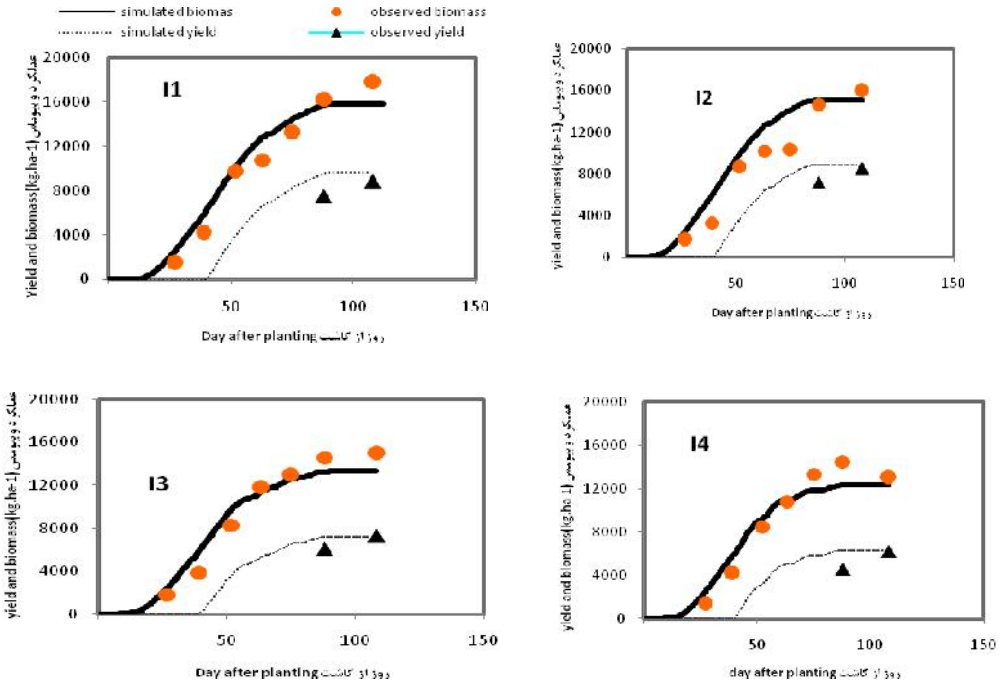
شکل ۲- ارزیابی شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در مرحله صحت سنجی در طول دوره رشد

Figure 2- Assessing of LAI simulation in validation step during the growth period



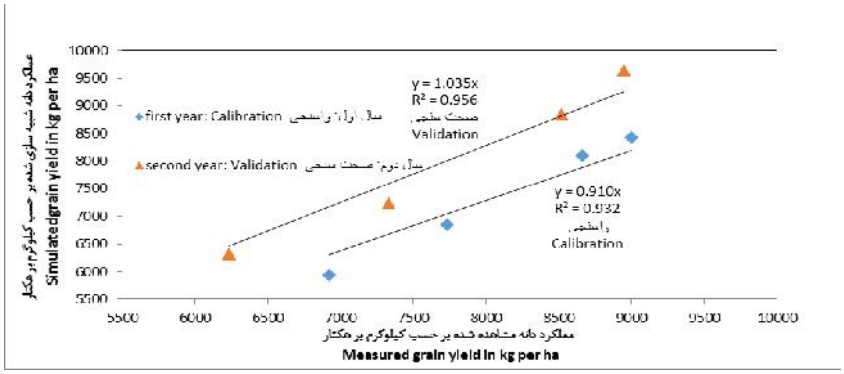
شکل ۳- عملکرد و بیوماس شبیه سازی شده در مرحله واسنجی در طول دوره رشد

Figure 3- Simulated yield and biomass in calibration step during the growth period



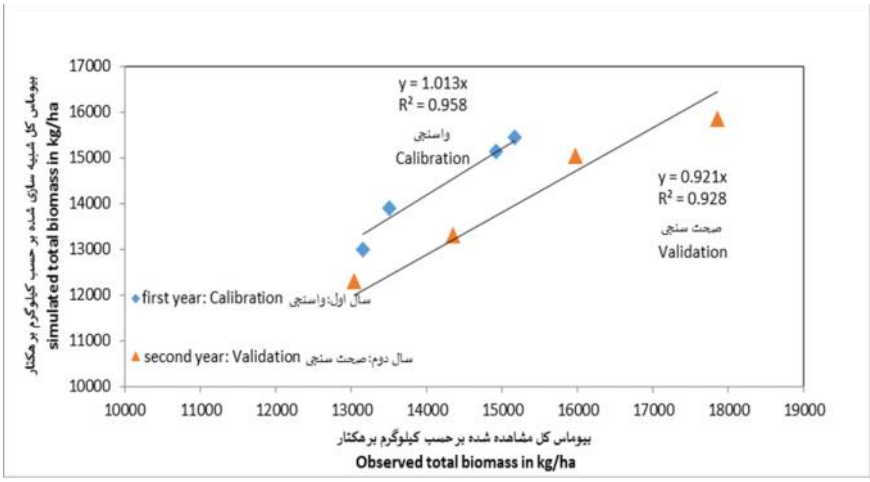
شکل ۴- عملکرد و بیوماس شبیه سازی شده در مرحله صحت سنجی در طول دوره رشد

Figure 4- Simulated yield and biomass in validation step during the growth period



شکل ۵- مقایسه مقادیر عملکرد دانه اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل

Figure 5- Comparison of simulated and observed grain yield



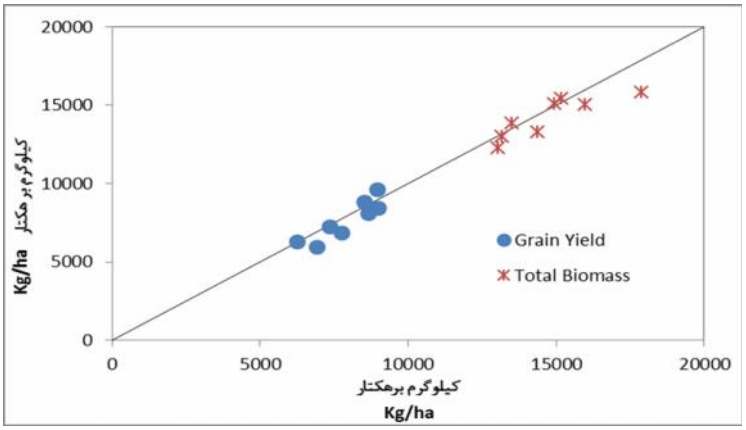
شکل ۶- مقایسه مقادیر بیوماس کل اندازه گیری شده و شبیه سازی شده توسط مدل

Figure 6- Comparison of simulated and observed of total biomass

جدول ۴- ارزیابی آماری عملکرد مدل در شبیه سازی عملکرد دانه و بیوماس کل

Table 4- Assessing of model performance in simulating grain yield and total biomass

P(t)	ME	$RMSE_n$	RMSE (kg/ha)	R^2	میانگین عملکرد شبیه سازی شده Mean of simulated yield (kg/ha)	میانگین عملکرد مشاهده ای Mean of observed yield (kg/ha)		
0.18	-9.6	9.6	772	0.93	7329	8079	عملکرد دانه Gran yield	واسنجی Calibration
0.41	1.2	1.9	274	0.95	14369	14188	بیوماس کل Total Biomass	
0.40	3	5	392	0.95	8010	7758	عملکرد دانه Gran yield	صحت سنجی Validation
0.20	-7	8	1274	0.92	14128	15303	بیوماس کل Total Biomass	



شکل ۷–مقایسه مقادیر شبیه سازی-اندازه گیری شده بیوماس کل و عملکرد با خط یک به یک

Figure 7- Comparison of simulated and observed biomass and yield with x=y line

References منابع مورد استفاده

- Amiri, E., M. Kavoosi, and F. Kaveh. 2009. Evaluation of crop growth models ORYA2000, SWAP and WOFOST under different types of irrigation management. *Journal of Agricultural Engineerin Research*. 1(3):13-28. (In Persian)
- Amiri, E., M. Rezaei, M.K. Motamed, and S. Emami. 2010. Evaluation of the crop growth model WOFOST under irrigation management. *Agronomy Journal* (*Pajouhesh & Sazandegi*). 90: 9-17. (In Persian).
- Dehghan, H., A. Alizadeh, and S.A. Haghayeghi. 2011. Water balance components estimating in farm scale using simulation model SWAP (Case Study: Neyshabur Region). *Journal of Water and Soil*. 24(6): 1265-1275. (In Persian)
- Djaman, K., S. Irmak, W.R. Rathje, D.L. Martin, and D.E. Eisenhauer. 2013. Maize evap-otranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE). 56: 373–393.
- Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage paper, NO 33, Rome, Italy.
- Jiang, Y., X. Xu, Q.Z. Huang, Z.L. Huo, and G.H. Huang. 2015. Assessment of irrigationperformance and water productivity in irrigated areas of the middle Heihe Riverbasin using a distributed agro-hydrological model. *Agricultural Water Management*. 147: 67–81.
- Karimi goghari, Sh., and R. Asadi. 2012. Evaluation of SWAP model in predicting maize yield under deficit irrigation condition. *Journal of Water Research in Agriculture*. 26(4): 391-404. (In Persian).
- Khani, M., K. Davari, A. Alizadeh, H. Hashminia, and A. Zolfagharan. 2006. SWAp model assessment for simulating sugar beet yield under different irrigation water quantities and qualities. *Irrigation and Drainage Journal of Iran*. 2: 107-118. (In Persian).
- Liu, J., S.K. Sun, P.T. Wu, Y.B. Wang, and X.P. Zhao. 2015. Evaluation of crop production, trade, and consumption from the perspective of water resources A case study of the Hetao irrigation district, China, for 1960–2010. *Science Total Environment*. 505: 1174–1181.
- Roetter, R., C.T. Hoanh, and P.S. Teng. 1998. A systems approach to analyzing land use options for sustainable rural development in South and Southeast Asia. IRRI Discussion Paper Series 28. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.110 pp.
- Rötter, R.P., T. Palosuo, K.C. Kersebaum, C. Angulo, M. Bindi, and F. Ewert. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *Field Crops Research*. 133: 23-36.
- Sezen, S.M., A. Yazar, B. Kapur, and S. Tekin. 2011. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under

Mediter-ranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*. 98: 1153–1161.

- Shirshahi, F., H. Babazadeh, F. Kaveh, and E. Amiri. 2014. Assessment of water use efficiency and predicting wheat yield using SWAP model in partial of droudzan irrigation and drainage network. *Water Research in Agriculture.* 28(2): 273-283. (In Persian).
- Singh, R., and J. Singh. 1996. Irrigation planning in cotton through simulation. *Modeling of Irrigation Science*. 17: 31–36.
- Singh, R., R.K. Jhorar, J.C. van Dam, and R.A. Feddes. 2006. Distributed ecohydrological modeling to evaluate irrigation system performance in Sirsa district, India II: impact of viable water management scenarios. *Journal of Hydrology*. 329: 714–723.
- Supit, I., A.A. Hooijer, and C.A. van Diepen. 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Brussels. 416 pp.
- van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk, and C.A. van Diepen. 1997. Theory of SWAP, version 2. Simulation of water flow, solute transported plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Report No.71. Department of Water Resources Wagningen Agricultural University.
- Verdinejad, V.R., T. Sohrabi, M. Feizi, N. Heydari, and S.H. Araghinejad. 2010. Patterning different crops yield with saline water irrigation condition using SWAP model. *Journal of Water and Soil Science*. 20.1(4): 97-111. (In Persian).
- Wang, X.P., G.H. Huang, J.S. Yang, Q.Z. Huang, H.J. Liu, and L.P. Yu. 2015. An assessment of irrigation practices: sprinkler irrigation of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. 159: 197–208.
- Wen, J., J. Li, and Y. Li. 2015. Response of maize growth and yield to different water and nitrogen schemes on very coarse sandy loam soil under sprinkler irrigation in the semi-arid region of China. *Irrigation and Drainage*. 64(5): 619-636.
- Wösten, J.H.M., A. Lilly, A. Nemes, and C. Le Bas. 1998. Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. Report 156. DLO Winand staring Centre. The Netherlands.
- Xu, X., G.H. Huang, C. Sun, L.S. Pereira, T.B. Ramos, Q.Z. Huang, and Y. Hao. 2013. Assessing the effects of water table depth on water use, soil salinity and wheat yield: searching for a target depth for irrigated areas in the upper Yellow River basin. *Agricultural Water Management*. 125: 46–60.
- Xue, J., and L. Ren. 2016. Evaluation of crop water productivity under sprinkler irrigation regime using a distributed agro-hydrological model in an irrigation district of China. *Agricultural Water Management.*178: 350-365.

Evaluation of Maize Response to Less Irrigation Management Using SWAP Model

Ebrahim Amiri [1]*, and Fahimeh Shirshahi[2]

Received: February 2017 , Revised: 27 April 2017, Accepted: 19 February 2018

Abstract

This study was conducted to evaluate the response of hybrid varieties of maize (single cross 260) under drip irrigation treatments in the Fars province in 2012 and 2013 at the Experimental Field of Islamic Azad University of Shiraz. Irrigation levels were 20, 40, 60 and 80% deplection of moisture contents and experiment was conducted in a randomized complete block design. The triats measured were leaf area index, dry matter yield and total biomass in 2012 and the measurements were repeated in 2013 to validate the use of SWAP model. The results showed that simulated yield changes by the use of model, at different levels of irrigation levels in the farm, corresponded with the yield changes in the field. Statistical indices including correlation coefficient (greater than 0.9), t-test (greater than 0.05), the root mean square error and normalized root mean square error (RMSEn) equal to 1.9-6.9, indicate good performance for grain yield and total biomass by using the SWAP model.

Key words: Drip irrigation, Maize, Shiraz, SWAP, Yield.

1- Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran.
2- Young Researchers and Elite Club, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
* *Corresponding Author: eamiri57@yahoo.com*