



ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی ماده خشک کل و عملکرد دانه ذرت، تحت مدیریت آبیاری و نیتروژن

ابراهیم امیری^۱، افشین خورسند^۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۳۰

چکیده

مطالعه حاضر برای ارزیابی توانایی مدل AquaCrop برای پیش‌بینی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت ژنوتیپ سینگل کراس ۷۰۴، در لاهیجان، به مدت دو سال در سال‌های زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ اجرا گردید. طرح آزمایشی بصورت کرت‌های خردشده، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح دور آبیاری ۶، ۱۲ و ۱۸ روز در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. تیمارهای کود نیتروژن به عنوان عامل فرعی در ۴ سطح ۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بودند. برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از شاخص‌های آماری شامل ضریب تبیین (R^2) و ضریب تغییرات (RMSEn) استفاده شد. بر اساس نتایج، ضریب تغییرات پیش‌بینی عملکرد دانه در مرحله واسنجی و ارزیابی به ترتیب، ۱۴/۷۴ و ۱۲/۰۱ درصد و برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب، ۱۰/۳۱ و ۹/۶۶ درصد محاسبه گردید. همچنین، مقدار ضریب تبیین در مراحل واسنجی و ارزیابی برای عملکرد ذرت توسط مدل به ترتیب، ۰/۸۶ و ۰/۸۰ و برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب، ۰/۹۲ و ۰/۸۶ بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت، دارای دقت مناسب می‌باشد و در تعیین استراتژی‌های بهینه‌سازی برای بهبود بهره‌وری آب و مصرف کود نیتروژن در کشت ذرت در استان گیلان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، شبیه‌سازی مدل، عملکرد محصول، گیلان

امیری، ا. و ا. خورسند. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی ماده خشک کل و عملکرد دانه ذرت، تحت مدیریت آبیاری و نیتروژن. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۳: ۱۸۵-۱۷۴.

۱- دانشیار گروه کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران-مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: eamiri57@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

مقدمه

در مناطق فاریاب، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهینه از آب ضروری به نظر می‌رسد. اصلاح مدیریت آبیاری با کاربرد مدل‌های گیاهان زراعی امکان‌پذیر می‌باشد (جلینی و همکاران، ۲۰۰۶). جهت پر کردن خلاءهای موجود، نیاز به انجام تحقیقات گسترده در همه زمینه‌ها از جمله ارزیابی استعداد اراضی، مدیریت سیستم‌های زراعی، مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها، مدیریت تنش‌های محیطی، مدیریت مصرف کود و آب وجود دارد (پارسا، ۲۰۰۷). به عقیده برخی پژوهشگران، مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ذرت محسوب می‌شود (نروود، ۲۰۰۰). نیتروژن نخستین عنصری است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود میزان مواد آلی، مطرح می‌شود (ملکوئی و همایی، ۲۰۰۳). مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های زایشی و رویشی موثر است (جبراردین و همکاران، ۱۹۸۷).

ماچوو و همکاران (۱۹۹۰) برای ارزیابی عملکرد ذرت از مدل رشد گیاهی استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که اغلب تغییرات در عملکرد ذرت مربوط به تغییر دما و تابش خورشیدی است. عملکرد ذرت با تابش خورشیدی افزایش و با بالا رفتن دما کاهش یافت. هاگ و داویدز (۲۰۰۳) نتیجه گرفتند، تنش خشکی ملایم و شدید، عملکرد دانه هیبرید ذرت مورد مطالعه را به ترتیب ۶۳ و ۸۵ درصد کاهش می‌دهد. در ایران از ذرت رقم اصلاح شده سینگل کراس ۷۰۴، در بیشتر مناطق استفاده می‌شود (رحیمی‌خوب و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل گیاهی AquaCrop، یکی از جدیدترین مدل‌های رشد گیاهی است که در سال ۲۰۰۹ ارائه گردیده است (رائس و همکاران، ۲۰۰۹). هدف از توسعه‌ی مدل AquaCrop، که چیدمان آن بر مدیریت مصرف آب و توجه خاص به گیاه استوار است، فراهم کردن ابزاری کارآمد برای شناخت برخی پدیده‌های پنهان در تولید محصول به شمار می‌رود که مشتمل است بر موازنه آب خاک، شکل‌گیری و تکامل عملکرد، زیست‌توده، پوشش سبزینه‌ای و بهره‌وری آب، ارائه گزاره‌های مختلف مدیریتی مصرف آب و ارزیابی مدل‌های محلی برای کمک به بهره‌برداران عرصه مدیریت آب در مزرعه (توکلی و همکاران، ۲۰۱۴).

هسیائو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که مدل AquaCrop به صورت مناسبی عملکرد دانه را برای چهار رقم

ذرت در شش فصل رشد با تراکم، تاریخ کاشت و نیاز تعرقی مختلف در تیمارهای متفاوت آبیاری شبیه‌سازی می‌کند. محدوده‌ی خطای حاصل از شبیه‌سازی برای عملکرد، ۱ تا ۲۴ درصد بدست آمد که حداقل و حداکثر خطای شبیه‌سازی به ترتیب، ۱ درصد برای تیمار تنش در زمان سنبله‌دهی به بعد و ۲۳/۸ درصد برای تیمار اعمال تنش تا سنبله‌دهی می‌باشد.

هنگ و همکاران (۲۰۰۹) برای سه شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک، باد شدید همراه با تبخیر تعرق زیاد و آب و هوای بارانی با خاک شنی مدل AquaCrop را بر روی محصول ذرت واسنجی نمودند و برای ارزیابی مدل از داده‌های مطالعات انجام شده بر روی ذرت که توسط هاول و همکاران (۱۹۹۸) در بوس-لند، بنت و همکاران (۱۹۸۶) و ماچوو و همکاران (۲۰۰۶) در گین‌سویل و کاورو و همکاران (۲۰۰۰) در ساراگوسای اسپانیا، استفاده نمودند. هم‌چنین هنگ و همکاران (۲۰۰۹) از پارامترهای گیاهی کالیبره‌شده برای ذرت توسط هسیائو و همکاران (۲۰۰۹) برای ارزیابی مدل استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop توانایی شبیه‌سازی آب مصرفی گیاه را به صورت قابل قبولی دارد و مدل رشد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را تحت شرایط بدون تنش آبی و تنش‌های متوسط به صورت خوبی شبیه‌سازی می‌کند.

ارکوسا و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه گرفتند که در خاک‌های تحت تنش کود کم، نزدیک بهینه و حالت بهینه مقادیر عملکرد دانه برای محصول ذرت در منطقه اتیوپی، از ۲/۵ تن در هکتار به ۶/۴ و ۹/۲ تن در هکتار افزایش یافته است. علی‌شیری و همکاران (۲۰۱۴) در شبیه‌سازی رشد چغندر قند تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن نتیجه گرفتند که بیشترین تنش شبیه‌سازی عملکرد، در تیماری است که دارای بیشترین تنش کود است. مدل‌ها می‌توانند کمکی در تلفیق اثرات متقابل ژنتیک، فیزیولوژی و سازمان‌دهی داده‌ها باشند. در تصمیم‌های مدیریتی خارج از فصل، روی عملیات کشت، کوددهی، آبیاری و مصرف آفت‌کش‌ها نیز می‌توان از آنها استفاده کرد (بوتو و همکاران، ۱۹۹۶). هدف تحقیق حاضر، ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محصول ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) بر اساس داده‌های دو سال زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ می‌باشد.

مواد و روش‌ها آزمایش مزرعه‌ای

می‌رسید، قطع می‌گردید که مقدار آب ورودی به هر کرت توسط کنتور نصب شده در محل اندازه‌گیری گردید.

برخی از خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است. برای اطلاعات اقلیمی مورد نیاز از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی شهر لاهیجان استفاده و تبخیر-تعرق مرجع نیز بر اساس از روش فائو پنمن مانیتیت و با استفاده از برنامه ET_o Calculator محاسبه گردید (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

آزمایش حاضر در سال‌های زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در مزرعه‌ای واقع در مرکز تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، در استان گیلان اجرا گردید. این آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح دور آبیاری ۶، ۱۲ و ۱۸ روز در کرت-های بزرگتر و تیمارهای کود نیتروژن به عنوان عامل فرعی در ۴ سطح ۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار در داخل کرت-های کوچکتر قرار گرفتند به صورتی که تیمارهای کودی در طی سه تقسیط (کاشت، ۷-۸ برگی و گرده افشانی) مصرف گردید. آبیاری سطحی (جوی پشته‌ای) در آزمایش به گونه‌ای در نظر گرفته شد که انتهای جوی باز و آب زمانی که به انتهای آن

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی پروفیل خاک.

عمق (cm)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	ظرفیت زراعی (%)	نقطه پژمردگی (%)
۰-۳۰	۴۳	۲۱	۳۶	۳۹	۲۳
۳۰-۶۰	۴۳	۲۱	۳۶	۳۹	۲۳

مدل AquaCrop

هسته‌ی اصلی تخمین عملکرد محصول در AquaCrop، رابطه دورنیاس و کاسام (رابطه ۱) بوده که با اعمال اصلاحاتی در آن از جمله تفکیک تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق (T_r) و نیز عملکرد (Y) به عملکرد بیولوژیک (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شده است (رائس و همکاران، ۲۰۰۹):

(۱)

$$(1 - Y_a / Y_{max}) = K_y (1 - ET_a / ET_{max})$$

که در آن: Y_{max} حداکثر عملکرد، Y_a عملکرد واقعی، ET_{max} حداکثر تبخیر و تعرق، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_y فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق می‌باشد. برای محاسبه عملکرد دانه، مدل از رابطه زیر استفاده می‌کند (رائس و همکاران، ۲۰۰۹):

(۲)

$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B$$

که در آن: HI₀ شاخص برداشت مرجع (طی مرحله‌ی بلوغ

فیزیولوژیک)، Y عملکرد دانه و f_{HI} ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند و به کمبود آب، درجه حرارت هوا، زمان و میزان تنش در طول چرخه رشد محصول بستگی دارد، B عملکرد بیولوژیک محصول می‌باشد که برای هر روز از چرخه محصول با ضرب WP* به نسبت تعرق محصول بر تبخیر-تعرق مرجع در آن روز محاسبه می‌شود (رائس و همکاران،

$$B = K_{sb} WP^* \sum_{i=1}^n \frac{Tr_i}{ET_{oi}} \quad (3)$$

که در آن: K_{sb} ضریب تنش دمایی، WP* بهره‌وری آب نرمال-شده (هدف از نرمال‌سازی این است که بتوان WP را برای موقعیت‌ها و فصل‌های مختلف، به کار برد) می‌باشد. سیستم اطلاعات گیاه از چهار بخش فنولوژی گیاه، تعرق گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد قابل برداشت و تنش‌ها، تشکیل شده است. تنش‌های مدل شامل: تنش آبی، تنش حاصل‌خیزی (قسمت مدیریت زراعی مدل AquaCrop، در برگ‌گیرنده پوشش و شکل

خاک وارد مدل می‌شود (رائس و همکاران، ۲۰۰۹).

ارزیابی مدل AquaCrop

برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در تخمین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محصول از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) یا همان ضریب تغییرات، معیار کارایی نش-ساتکلیف (NSE)، ضریب باقیمانده (CRM)، خطای نسبی (RE) (سینگ و همکاران، ۲۰۰۸، خورسند و همکاران، ۲۰۱۴)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید:

$$\text{NRMES} = \frac{1}{O} \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

$$\text{CRM} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (6)$$

$$\text{RE} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|S_i - O_i|}{O_i} \right) \times 100 \quad (7)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (8)$$

همکاران، ۲۰۱۴). ویلموت یک شاخص بی‌بعد است که دامنه تغییرات آن بین صفر و یک می‌باشد که مقدار یک بیانگر بهترین برازش می‌باشد. آزمون t نیز برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت، چنانچه مقدار نتیجه آزمون t بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر شبیه‌سازی پارامتر در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه اندازه واقعی پارامتر می‌باشد. واسنجی عبارتست از تخمین پارامترهای مدل به نحوی که اختلاف بین مقادیر اندازه-گیری شده (متغیرهایی از قبیل عملکرد و عملکرد بیولوژیک) و مقادیر محاسباتی آن که توسط مدل برآورد شده است به حداقل برسد (سینگ، ۲۰۰۴؛ براندیل و همکاران، ۲۰۰۵). ارزیابی مدل،

سطح خاک، قبل از کشت و درجه غنی‌بودن خاک و کوددهی می‌باشد. مدل قادر به شبیه‌سازی بیلان مواد مغذی در خاک نمی‌باشد و فقط به صورت کلی، ۶ سطح حاصل‌خیزی خاک را در نظر می‌گیرد: ۱- خاک بدون محدودیت و بهینه (غنی) (۰٪ تنش) ۲- نزدیک بهینه (غنی) (۲۳٪ تنش) ۳- متوسط (۴۱٪ تنش) ۴- نزدیک نصف بهینه (۵۰٪ تنش) ۵- فقیر (۵۸٪ تنش) ۶- خیلی فقیر (۷۲٪ تنش). انتخاب هر یک از این گزینه‌ها بر پارامترهای WP، پوشش گیاهی، سرعت پیر شدن پوشش و بیوماس، تأثیر می‌گذارد (خورسند و همکاران، ۲۰۱۴)، تنش دمایی و تنش شوری می‌باشند. قسمت مدیریت مدل از دو بخش مدیریت آبیاری و مدیریت زراعی تشکیل شده است. اطلاعات خاک، خصوصیات هیدرولیکی خاک بوده که برای هر لایه از نیم‌رخ

که در آن: S_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات و \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. مقدار RMSEn ایده‌آل برای مدل‌سازی کمتر از ۱۰٪ می‌باشد RMSEn در بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در پیش‌بینی و بیشتر از ۳۰٪ نشان دهنده عدم اطمینان از مدل می‌باشد. مقدار NSE بین ۰-۱ تا ۱ متغیر است که هر چه مقدار آن به یک نزدیک باشد، مدل کارآتر است. آماره CRM نشانگر تمایل مدل برای بیش-برآورد (مقادیر منفی) و یا کم‌برآورد (مقادیر مثبت) در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (سینگ و همکاران، ۲۰۰۸، خورسند و

اثبات کارایی مدل به منظور استفاده آتی می‌باشد.

گیاهی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در جدول ۲ ارائه شده است. جهت واسنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۸۹ و جهت ارزیابی مدل از داده‌های سال ۱۳۹۰ استفاده گردید. سپس مدل اجرا و مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محصول ذرت حاصل از شبیه‌سازی، با مقادیر اندازه‌گیری شده بر اساس شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

با استفاده از فایل گیاهی که در مدل برای ذرت بصورت پیش فرض ساخته شده بود، اقدام به تنظیم (واسنجی) برخی از پارامترهای گیاهی مدل شد، که نتایج مقادیر واسنجی پارامترهای

جدول ۲- واسنجی پارامترهای گیاهی مدل برای محصول ذرت (رقم SC704).

پارامترها	واحد	SC704	روش واسنجی
دمای پایه رشد	(°C)	۸	پیش فرض
دمای حداکثر	(°C)	۳۰	پیش فرض
بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)	(g/m ²)	۲۸۷	تنظیم شد
شاخص برداشت (HI)	(%)	۴۸	پیش فرض
ضریب گیاهی (Kcb,x)	(-)	۱/۰۵	تنظیم شد
ضریب رشد پوشش تاجی (CGC)	(%/day)	۱۱/۵	تنظیم شد
ضریب کاهش پوشش تاجی (CDC)	(%/day)	۱۴/۴	تنظیم شد
حداکثر پوشش گیاهی (CCx)	(%)	۹۱/۰	تنظیم شد
تنش هوادهی در هنگام اشباع بودن خاک	درصد حجمی Vol%	۵	پیش فرض
حد بالای ضریب تنش آبی خاک برای پوشش تاجی	(-)	۰/۱۰	تنظیم شد
حد پایین ضریب تنش آبی خاک برای پوشش تاجی	(-)	۰/۴۵	تنظیم شد
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آب برای پوشش تاجی	(-)	۲/۹	پیش فرض
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آب برای پیری پوشش تاجی	(-)	۲/۷	پیش فرض
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آب برای بسته شدن روزنه‌ها	(-)	۶/۰	پیش فرض
حد بالای ضریب تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	(-)	۰/۵۵	تنظیم شد
حد بالای ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی	(-)	۰/۵۵	تنظیم شد

عملکرد دانه

دانه ذرت، در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. مدل در مرحله واسنجی و ارزیابی، عملکرد محصول را برای رقم SC704 ذرت با دقت مناسب، شبیه‌سازی نمود. مقدار خطای نرمال‌شده طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، برای رقم SC704 در بازه

مراحل واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای عملکرد دانه ذرت رقم SC704 در شکل (۱) قابل مشاهده است. پارامترهای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در پیش‌بینی عملکرد

خطای حاصل از شبیه‌سازی برای عملکرد ذرت، ۱ تا ۲۴ درصد بدست آمد. در تحقیقی مدل AquaCrop را برای ارزیابی عملکرد ذرت رقم SC704، واسنجی و صحت‌سنجی کردند. شاخص‌های آماری R^2 و NSE در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد به ترتیب، ۰/۸۵ و ۰/۷۶ بدست آمد. نتایج این بررسی نشان داد که مدل مقدار عملکرد را در تراکم کاشت متفاوت و در سطوح مختلف آبیاری، به خوبی شبیه‌سازی می‌کند (دوستی-رضایی و همکاران، ۲۰۱۳). خورسند و همکاران مدل AquaCrop را برای ارزیابی عملکرد گندم تحت تنش‌های محیطی، مورد سنجش قرار دادند. بر اساس نتایج، مقدار خطای نرمال‌شده پیش‌بینی عملکرد محصول برای ارقام روشن و قدس در مرحله واسنجی به ترتیب، ۳/۸۴ و ۶/۶۵ درصد، و در مرحله ارزیابی به ترتیب، ۴/۶۵ و ۴/۵۵ درصد به دست آمد (خورسند و همکاران، ۲۰۱۴). در تحقیقی مدل AquaCrop را برای ارزیابی عملکرد گندم، مورد سنجش قرار دادند. این تحقیق با ۴ سطح آبیاری و ۳ سطح شوری (۱۲ تیمار) در منطقه بیرجند، برای ارقام روشن و قدس گندم انجام گرفت. بر اساس نتایج، محدوده‌ی خطای نسبی پیش‌بینی عملکرد برای ارقام روشن و قدس به ترتیب، ۰/۴ تا ۱۲/۰ و ۰/۱ تا ۴۰/۰ درصد به دست آمدند که بیشترین خطای نسبی در ۳ سطح شوری مختلف، مربوط به تیمار آبیاری I₁ (۵۰ درصد نیاز آبی) بود (وردی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۴).

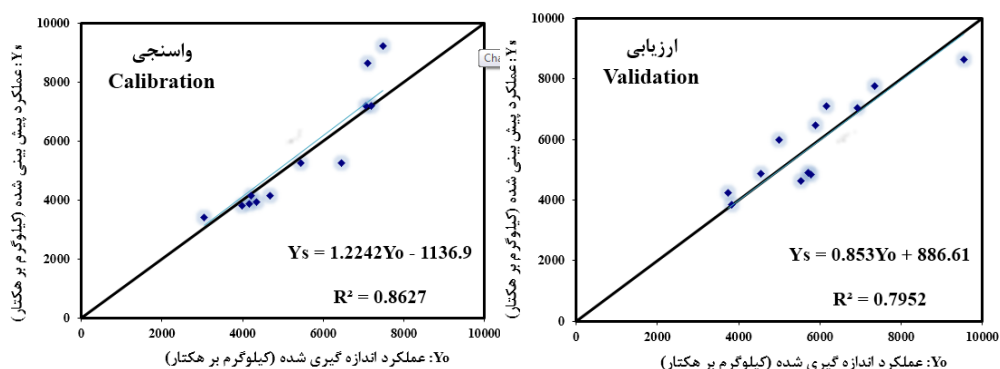
۱۰ تا ۲۰ درصد (محدوده‌ی ۱۲ تا ۱۵ درصد) به دست آمد که بر اساس این آماره، مدل‌سازی عملکرد محصول، مناسب می‌باشد. شاخص NSE طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای رقم SC704، نزدیک به یک بوده و نشان دهنده دقت مناسب مدل، در پیش‌بینی عملکرد محصول می‌باشد. مقدار آماره ضریب باقیمانده برای رقم SC704 طی دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، منفی به دست آمد که نشان داد، مدل کمی تمایل به بیش‌برآورد دارد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل در پیش‌بینی عملکرد رقم سینگل کراس ۷۰۴ ذرت، بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده، شبیه‌سازی می‌کند (جدول ۳).

مقادیر خطای نسبی (RE) تخمین مدل در پیش‌بینی عملکرد رقم SC704 ذرت در جدول ۴، ارائه شده است که در آن مقادیر مثبت خطای نسبی، نشان‌دهنده مقدار بیش‌برآورد و مقادیر منفی نشان‌دهنده مقدار کم‌برآورد می‌باشند. بر اساس نتایج جدول ۴، بیشترین خطای نسبی بیش‌برآورد و کم‌برآورد در مرحله واسنجی، مربوط به دور ۶ روز آبیاری در سطوح کود نیتروژن ۲۴۰ و ۱۲۰ (kg/ha) بوده که مقدار این خطا به ترتیب برابر ۲۳/۳۷ و ۱۸/۵۸ درصد می‌باشد. هم‌چنین بیشترین خطای نسبی بیش‌برآورد و کم‌برآورد در مرحله اعتبارسنجی، مربوط به دور ۱۲ روز آبیاری (سطح کود نیتروژن ۱۲۰ kg/ha) و دور ۱۸ روز آبیاری (سطح کود نیتروژن ۱۸۰ kg/ha) بوده که مقدار این خطا به ترتیب برابر ۱۹/۶۷ و ۱۶/۳۹ درصد می‌باشد.

هسیانو و همکاران (۲۰۰۹) مدل AquaCrop را برای محصول ذرت در منطقه دی‌وایس، واسنجی و صحت‌سنجی نمودند. بر اساس نتایج در مرحله صحت‌سنجی، محدوده‌ی

جدول ۳- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای کل سطوح آبیاری و کود نیتروژن عملکرد ذرت (واسنجی و ارزیابی)

شاخص آماری	R^2 (-)	d (-)	NSE (-)	CRM (-)	NRMSE (%)	t_{test}
واسنجی	۰/۸۶	۰/۹۹۵	۰/۷۱	-۰/۰۱۵	۱۴/۷۴	۰/۳۵
ارزیابی	۰/۸۰	۰/۹۹۶	۰/۷۹	-۰/۰۰۵	۱۲/۰۱	۰/۴۸



شکل ۱- مقایسه عملکرد اندازه گیری و پیش بینی شده توسط مدل برای رقم SC704 در مرحله واسنجی و ارزیابی.

جدول ۴- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای عملکرد ذرت (واسنجی و ارزیابی)

اعتبارسنجی (سال دوم)			واسنجی (سال اول)			تیمار	
خطای نسبی (%)	عملکرد پیش بینی شده**	عملکرد اندازه گیری شده**	خطای نسبی (%)	عملکرد پیش بینی شده**	عملکرد اندازه گیری شده**	نیترژن (کیلوگرم بر هکتار)	آبیاری
۷/۴۵*	۴۸۸۷	۴۵۴۸	-۱/۵۸*	۴۱۴۷	۴۲۱۴	۰	
۱/۷۲	۷۰۳۴	۶۹۱۵	-۱۸/۵۸	۵۲۴۷	۶۴۴۵	۱۲۰	دور ۶
۵/۴۸	۷۷۶۳	۷۳۶۰	۰/۳۷	۷۲۱۴	۷۱۸۷	۱۸۰	
-۹/۳۰	۸۶۵۵	۹۵۴۲	۲۳/۳۷	۹۲۴۵	۷۴۹۴	۲۴۰	
۱۳/۶۵	۴۲۴۶	۳۷۳۶	-۱۱/۴۷	۴۱۴۷	۴۶۸۴	۰	
۱۹/۶۷	۵۹۹۲	۵۰۰۷	-۳/۸۰	۵۲۴۷	۵۴۵۴	۱۲۰	دور ۱۲
۹/۸۴	۶۴۷۷	۵۸۹۷	۱/۹۷	۷۱۸۸	۷۰۴۹	۱۸۰	
۱۵/۲۶	۷۱۰۰	۶۱۶۰	۲۱/۹۱	۸۶۴۷	۷۰۹۳	۲۴۰	
۰/۳۹	۳۸۵۳	۳۸۳۸	۱۲/۱۸	۳۴۲۶	۳۰۵۴	۰	
-۱۶/۳۱	۴۶۳۷	۵۵۴۱	-۴/۶۱	۳۸۰۴	۳۹۸۸	۱۲۰	دور ۱۸
-۱۶/۳۹	۴۸۳۵	۵۷۸۳	-۹/۳۶	۳۹۳۷	۴۳۴۴	۱۸۰	
-۱۴/۱۸	۴۹۰۴	۵۷۱۴	-۶/۶۰	۳۸۸۳	۴۱۵۷	۲۴۰	
۱/۴۴	۵۸۶۵	۵۸۳۷	۰/۳۲	۵۵۱۱	۵۴۳۰	متوسط (Average)	

* مقادیر مثبت، بیش برآورد و مقادیر منفی کم برآورد می باشند. ** بر حسب کیلوگرم در هکتار.

عملکرد بیولوژیک

ارزیابی مدل ارائه شده است (شکل ۲). هم چنین مقادیر کمی پارامترهای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در پیش بینی عملکرد بیولوژیک ذرت، در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. مدل در

مقایسه مقادیر عملکرد بیولوژیک (بیوماس) محاسبه و پیش بینی شده ذرت توسط مدل AquaCrop طی مراحل واسنجی و

۱۵/۴۵ درصد می‌باشد. هم‌چنین بیشترین خطای نسبی بیش-برآورد و کم‌برآورد در مرحله اعتبارسنجی، مربوط به دور ۱۲ روز آبیاری (سطح کود نیتروژن ۱۲۰ kg/ha) و دور ۱۸ روز آبیاری (سطح کود نیتروژن ۱۸۰ kg/ha) بوده که مقدار این خطا به ترتیب برابر ۸/۹۳ و ۲۱/۱۲ درصد می‌باشد.

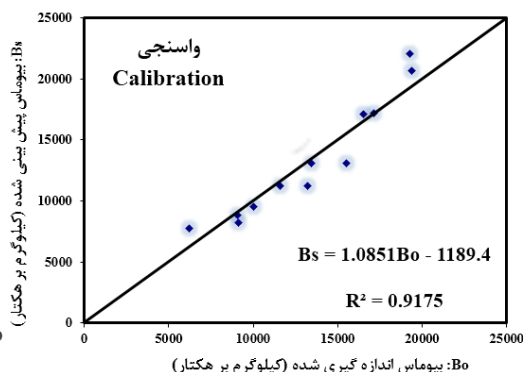
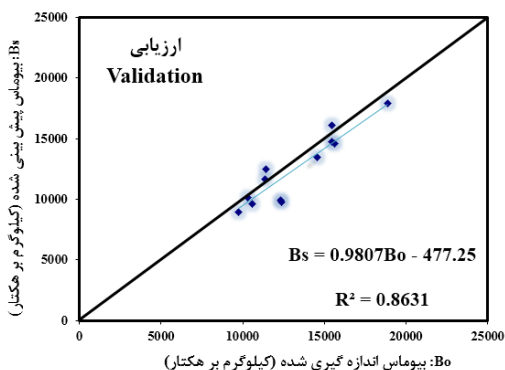
سالمی و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقی در اصفهان، مدل AquaCrop را برای ذرت و اسنچی و اعتباریابی نمودند. شاخص‌های آماری R^2 و CRM در مرحله واسنجی برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب، ۰/۹۳ و ۰/۰۲- و در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب، ۰/۹۵ و ۰/۰۱۹- بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل، عملکرد بیولوژیک محصول را برای آبیاری کامل و تنش‌های کم به طور مناسبی شبیه‌سازی می‌کند، اما در تنش‌های زیاد (۶۰٪ نیاز آبی)، مدل کمتر رضایت‌بخش بود. عابدین‌پور و همکاران (۲۰۱۲) طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ ذرت علوفه‌ای را با تیمارهای مختلف آبیاری کامل و کم آبیاری کشت کردند و مدل AquaCrop را با استفاده از نتایج اندازه‌گیری شده، ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد، حداقل و حداکثر برداشت محصول (عملکرد بیولوژیک) شبیه‌سازی شده به ترتیب ۱۳/۵ و ۱۷/۸ تن در هکتار است که خطای برآورد بین ۱/۷ تا ۳/۶ درصد تغییر می‌کند.

مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، عملکرد بیولوژیک محصول را برای رقم SC704 ذرت با دقت مناسب، شبیه‌سازی نمود. مقدار خطای نرمال‌شده طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، برای رقم SC704 در بازه ۱۰ تا ۲۰ درصد (محدوده‌ی ۹ تا ۱۱ درصد) به دست آمد که بر اساس این آماره، مدل‌سازی عملکرد بیولوژیک محصول، مناسب می‌باشد. شاخص NSE طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای رقم SC704، نزدیک به یک بوده و نشان دهنده دقت مناسب مدل، در پیش‌بینی عملکرد بیولوژیک محصول می‌باشد. مقدار آماره ضریب باقیمانده برای رقم SC704 طی دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، مثبت به دست آمد که نشان داد، مدل کمی تمایل به کم‌برآورد دارد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل در پیش‌بینی عملکرد بیولوژیک رقم سینگل کراس ۷۰۴ ذرت، کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده (برعکس پیش‌بینی عملکرد دانه ذرت)، شبیه‌سازی می‌کند (جدول ۵).

مقدار RE تخمین مدل در پیش‌بینی عملکرد بیولوژیک رقم SC704 ذرت در جدول ۶، ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۶، بیشترین خطای نسبی بیش‌برآورد و کم‌برآورد در مرحله واسنجی، مربوط به دور ۱۸ روز آبیاری (سطح کود نیتروژن ۰ kg/ha) و دور ۶ روز آبیاری (سطح کود نیتروژن ۱۲۰ kg/ha) بوده که مقدار این خطا به ترتیب برابر ۲۵/۰۱ و

جدول ۷- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای کل سطوح آبیاری و کود نیتروژن عملکرد بیولوژیک ذرت (واسنجی و ارزیابی)

شاخص آماری	R^2 (-)	d (-)	NSE (-)	CRM (-)	NRMSE (%)	t_{test}
واسنجی	۰/۹۲	۰/۹۹۷	۰/۸۹	۰/۰۰۴	۱۰/۳۱	۰/۴۹
ارزیابی	۰/۸۶	۰/۹۹۷	۰/۷۷	۰/۰۵۶	۹/۶۶	۰/۲۷



شکل ۲- مقایسه عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط مدل برای رقم SC704 در مرحله واسنجی و ارزیابی.

عملکرد دانه به دست آمد. به طور کلی، عملکرد مدل برای شبیه-سازی عملکرد دانه از عملکرد بیولوژیک دقیق تر بود و مدل قادر به شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط دیم بود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). تغییر در مدیریت آبیاری و کود نیتروژن منجر به تغییر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در طول هر ۲ سال آزمایش شده است که مدل نیز روند مشابهی را برای شبیه‌سازی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نشان می‌دهد اما دقت مدل در مدیریت‌های آبیاری و کود نیتروژن نیز تغییر یافته بطوریکه حداقل خطا در مدیریت آبیاری ۶ روز و حداکثر خطا در ۱۸ روز مدیریت آبیاری و شرایط بدون مصرف کود مشاهده می‌شود، که مهمترین علل خطا را می‌توان به ساختار مدل و خطای اندازه-گیری مرتبط دانست.

به منظور ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین انجام گرفت در ارزیابی مدل، ریشه میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار و عملکرد بیولوژیک ۰/۸۷ تن در هکتار، بودند. نتایج کلی نشان داد که مدل AquaCrop یک مدل معتبر است و می‌توان با درجه قابل اطمینان از دقت و صحت مدل برای بهینه-سازی تولید عملکرد دانه گندم استفاده کرد (ایکبال و همکاران، ۲۰۱۴). در تحقیقی دیگر به منظور بررسی عملکرد مدل AquaCrop بر روی محصول گندم در شرایط دیم، مطالعه‌ای در فلات جنوبی چین انجام گرفت بر اساس نتایج، محدوده خطا (ریشه میانگین مربعات) از ۰/۱۶ تا ۰/۳۸ تن در هکتار برای شبیه‌سازی عملکرد بیولوژیک و ۰/۵ تا ۱/۴۴ تن در هکتار برای

جدول ۸- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای عملکرد بیولوژیک ذرت (واسنجی و ارزیابی)

اعتبارسنجی (سال دوم)		واسنجی (سال اول)		تیمار		
خطای نسبی (%)	عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده**	عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده**	خطای نسبی (%)	عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شده**	نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)	آبیاری
۲/۴۵*	۱۱۶۲۷	۱۱۳۴۹	-۱۵/۰۶*	۱۱۲۰۸	۱۳۱۹۵	۰
-۶/۵۷	۱۴۶۲۳	۱۵۶۵۲	-۱۵/۴۵	۱۳۱۱۷	۱۵۵۱۴	دور ۶ روز ۱۲۰
۴/۴۰	۱۶۱۲۴	۱۵۴۴۴	۰/۳۵	۱۷۱۷۶	۱۷۱۱۶	۱۸۰
-۴/۹۰	۱۷۹۵۱	۱۸۸۷۶	۱۴/۱۲	۲۲۰۱۲	۱۹۲۸۸	۲۴۰
-۱/۹۶	۱۰۱۱۹	۱۰۳۲۱	-۳/۴۶	۱۱۲۰۸	۱۱۶۱۰	۰
۸/۹۳	۱۲۴۵۹	۱۱۴۳۸	-۲/۳۷	۱۳۱۱۷	۱۳۴۳۵	دور ۱۲ روز ۱۲۰
-۷/۶۴	۱۳۴۶۴	۱۴۵۷۸	۳/۴۵	۱۷۱۱۳	۱۶۵۴۲	۱۸۰
-۴/۴۳	۱۴۷۵۳	۱۵۴۳۷	۶/۵۳	۲۰۶۴۴	۱۹۳۷۸	۲۴۰
-۸/۳۹	۸۹۴۶	۹۷۶۵	۲۵/۰۱	۷۷۳۸	۶۲۱۴	۰
-۹/۲۰	۹۵۹۷	۱۰۵۶۹	-۹/۵۷	۸۲۳۰	۹۱۰۱	دور ۱۸ روز ۱۲۰
-۲۱/۱۲	۹۷۷۳	۱۲۳۹۰	-۲/۷۸	۸۸۴۷	۹۱۰۰	۱۸۰
-۱۹/۴۳	۹۹۲۸	۱۲۳۲۲	-۵/۴۷	۹۵۰۳	۱۰۰۵۳	۲۴۰
-۵/۶۵	۱۲۴۴۷	۱۳۱۷۸	-۰/۳۹	۱۳۳۲۹	۱۳۳۷۹	متوسط (Average)

* مقادیر مثبت، بیش برآورد و مقادیر منفی کم برآورد می‌باشند. ** بر حسب کیلوگرم در هکتار.

برای ارزیابی و سپس کاربرد یک مدل گیاهی در یک منطقه، باید طی چند سال متوالی، با کشت‌ها و مدیریت‌های مختلف، داده‌برداری صورت گیرد و تنها در این صورت است که می‌توان با درصد اطمینان بالا در مورد کارایی و یا عدم کارایی یک مدل گیاهی اظهار نظر نمود. در این تحقیق، مقدار ضریب تبیین در مراحل واسنجی و ارزیابی برای عملکرد دانه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ توسط مدل به ترتیب، ۰/۸۶ و ۰/۸۰ و برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب، ۰/۹۲ و ۰/۸۶ بدست آمد. در مدل AquaCrop طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، مقدار خطای نرمال شده پیش‌بینی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت (رقم SC704)، به ترتیب در محدوده‌ی ۱۲ تا ۱۵ و ۹ تا ۱۱ درصد به دست آمد، که نشان داد مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محصول، دارای دقت مناسب می‌باشد. با توجه به توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن، این مدل می‌تواند در تعیین استراتژی‌های بهینه سازی برای بهبود بهره‌وری آب و مصرف کود نیتروژن در کشت ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ در استان گیلان مورد استفاده قرار گیرد.

در مجموع، این مدل عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را در مرحله واسنجی و ارزیابی بترتیب بیشتر و کمتر از مقادیر واقعی پیش‌بینی می‌کند که بزرگتر و کوچکتر از یک شدن ضریب معادله خط برازش، این موضوع را مشخص می‌کند. مقدار شاخص ویلموت طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای عملکرد دانه بترتیب ۰/۹۹۵ و ۰/۹۹۶ و برای عملکرد بیولوژیک بترتیب ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۷ بدست آمد. این شاخص نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر بدست آمده از مدل AquaCrop وجود دارد. تجزیه و تحلیل‌های آماری از طریق آزمون t برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نشان داد که در سطح احتمال ۵ درصد (۹۵ درصد اطمینان) بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی آنها در مدل، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳ و ۷)، که نشان از توانایی مدل برای شبیه‌سازی تأثیر مدیریت آبیاری و نیتروژن در گیاه ذرت می‌باشد.

نتیجه‌گیری

منابع

- پارسا، س. ۱۳۸۶. مدل‌سازی نوسانات مکانی و زمانی عملکرد چغندر قند در استان خراسان. پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- توکلی، ع.، ع. لیاقت و ا. علیزاده. ۱۳۹۲. بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کاشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط دیم و آبیاری محدود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۴، شماره ۴: ۵۶-۴۱.
- جلینی، م.، ف. کاوه، ا. پذیرا، م. پاره‌کار و م. ج. عابدی. ۱۳۸۴. برآورد رطوبت در محدوده توسعه ریشه چغندر قند با استفاده از مدل LEACHM. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۱۲، شماره ۴۹: ۳۸-۲۸.
- خورسند، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد و مقایسه مدل‌های AquaCrop و SWAP تحت تنش‌های شوری و آبی (مطالعه موردی گندم زمستانه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه.
- خورسند، ا.، و. رضاوردی‌نژاد و ع. شهیدی. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم‌آبی. مدیریت آب و آبیاری. جلد ۴، شماره ۱: ۱۰۴-۸۹.
- دوستی‌رضایی، م.، س. بشارت، ح. رضایی، و. رضاوردی‌نژاد و ج. احمدآلی. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل AquaCrop بر عملکرد دانه ذرت. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا. دانشگاه کرمان.
- رحیمی‌خوب، ح.، ع. ستوده‌نیا و ع. مساح بوانی. ۱۳۹۳. واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۸، شماره ۱: ۱۱۵-۱۰۸.
- ملکوتی، م.، ج. و م. همایی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، مشکلات و راه حل‌ها. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۴۸۲ صفحه.

Abedinpour, M., A. Sarangi, T. B. S. Rajput, M. Singh, H. Pathak and T. Ahmad. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid Environment. *Agr Water Manage.* 110: 55-66.

- Alishiri, R., F. Paknejad and F. Aghayari. 2014. Simulation of sugarbeet growth under different water regimes and nitrogen levels by aqua crop. *International Journal of Biosciences (IJB)*. 4: 2220-6655.
- Allen, R. G., L. S. Preira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, NO.56, Rome, Italy.
- Bennett, J. M., J. W. Jones, B. Zur and L. C. Hammond. 1986. Interactive effects of nitrogen and water stresses on water relations of field-grown corn leaves. *Agron. J.* 78: 273-280.
- Boote, K. j., J. W. Jones and N. Pikerling. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.* 88: 704-716.
- Brandyle, T., L. Szaty, S. Gnatow and O. Tomasz. 2005. Examination of SWAP suitability to predict soil water conditions in a field Peat-Moorsh soil. Department of environmental improvement, Warsaw Agricultural University, Poland.
- Cavero, J., I. Farre, P. Debaeke and J. M. Faci. 2000. Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT models. *Agron. J.* 92: 679-690.
- Erkossa, T., S. Awulachew and D. Aster. 2011. Soil fertility effect on water productivity of maize in the upper Blue Nile basin, Ethiopia. *International Water Management Institute (IWMI)*. 2: 238-247.
- Girardin, P., M. Tollenaar, A. Deltour and J. Muldoon. 1987. Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): effects on development, dry matter accumulation and grain yield. *J. Am. Soc. Agron.* 7: 289 - 296.
- Heng, L. K., S. R. Evett, T. A. Howell T. C. Hsiao. 2009. Calibration and testing of FAO AquaCrop model for maize in several locations. *Agron. J.* 101: 488-498.
- Howell, T., G. Tolk, A. Schneider and S. Evett. 1998. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrid differing in maturity. *Agron. J.* 90: 3-9.
- Hsiao, T. C., L. K. Heng, P. Steduto, D. Raes and E. Fereres. 2009. AquaCrop-Model parameterization and testing for maize. *Agron. J.* 101: 448-459.
- Hugh, J. E and R. F. Davids. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J.* 95: 688-696.
- Iqbal, M., Y. Shen, R. Stricevic, H. Pei, H. Sun, E. Amiri, A. Penas and S. delRio. 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *Agr Water Manage.* 135:61-72.
- Muchow, R., T. Sinclair and J. Bennett. 1990. Statistics: Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82: 338-343.
- Norwood, C. A. 2000. Water use and yield of limited irrigated and dry land corn. *Soil Science Society of America Journal.* 64: 365 - 370.
- Raes, D., P. Steduto, T. C. Hsiao and E. Fereres. 2009. Reference manual AquaCrop. FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.
- Salemi, H., M. A. Mohd Soom, S. F. Mousavi, A. Ganji, T. Shui Lee, M. K. Yusoff and V. R. verdinejad. 2011. Irrigated silage maize yield and water productivity response to deficit irrigation in arid regions. *Pol. J. Environ. Stud.* 5: 1295-1303.
- Singh, R. 2004. Simulation on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton-wheat in a semi-arid area of north-west India. *Agr Water Manage.* 66:153-162.
- Singh, A.K., R. Tripathy and U.K. Chopra. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water Nitrogen interactions in wheat crop. *Agr Water Manage.* 95: 776-786.
- Verdinejad, V. R., A. Khorsand and A. Shahidi. 2014. Evaluation and comparison of AquaCrop and FAO models for yield prediction of winter wheat under environmental stresses. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. 4: 438-449.
- Zhang, W., W. Liu, Q. Xue, H. Pei, J. Chen and X. Han. 2013. Evaluation of the AquaCrop model for simulating yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China. *Water Sci. Technol.* 68: 821-828.

Evaluation of Aquacrop model to predict maize total biomass and grain yield under different water regimes and fertilizer

E Amiri¹, A. Khorsand²

Received: 2016-4-8 Accepted: 2016-6-19

Abstract

This study was conducted for performance evaluation of AquaCrop model to predict grain yield and biomass of maize genotype SC704 in Lahijan, Iran for two years (2010-2011). The experiment was a randomized complete block based on a split plots design with three replications. Irrigation treatments were in the main plots as main factor in three irrigation levels 6, 12 and 18 days. Nitrogen fertilizer treatments were as sub plots in 4 levels of 0, 120, 180 and 240 kg/ha. Evaluation simulated and measured grain yield and biomass by adjusted coefficient of correlation (R^2) and by normalized root mean square errors (RMSEn). Based on results, the average normalized root mean square error of calibration and validation in grain yield prediction for, were calculated 14.74 and 12.01 percent, respectively and for biomass, were calculated 10.31 and 9.66, respectively. Also, the regression coefficient (R^2) of calibration and validation for maize grain yield, were calculated 0.86 and 0.80, respectively and for maize biomass, were calculated 0.92 and 0.86, respectively. Results indicated that, the AquaCrop model predicted maize grain yield and biomass prediction with an appropriate precision and can determine the optimization strategies for improve the water productivity and nitrogen fertilizer in maize used in Gilan province.

Keywords: Crop yield, Gilan, maize, simulation model

1- Department of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2- Department of Water Engineering, Uromia University, Uromia, Iran