نشریه علمی زراعت و اصلاح نباتات ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۱۴-۱

ISSN NO: 2008-8485

ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم تحت شرایط مختلف آبیاری در مزرعه

Evaluation of AquaCrop for Simulation of Wheat Grain Yield and Water Use Efficiency under Different Irrigation Condition in Farm

مریم عابدی[۱]، اصلان اگدرنژاد*[۲] و نیاز علی ابراهیمی پاک[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲

چکیده

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی در دنیا است. به همین دلیل شبیه‌سازی عملکرد آن توسط مدل‌های گیاهی می‌تواند کمک شایانی برای پیش‌بینی عملکرد آن در شرایط مختلف آبیاری در مزرعه کند. به همین دلیل، به منظور ارزیابی دقت مدل AquaCrop، به عنوان یکی از مدل‌های گیاهی مورد استفاده محققان، نسبت به مقادیر مختلف تأمین آب آبیاری تحت کشت زارعین، تحقیق حاضر در شبکه آبیاری کوثر واقع در استان خوزستان انجام شد. بدین منظور، داده‌های ده ساله سه مزرعه به صورت تصادفی در این شبکه انتخاب شد. سپس ۷۰ درصد داده‌ها برای واسنجی این مدل به کار برده شد. نتایج واسنجی AquaCrop نشان داد که این مدل دارای خطای قابل قبول و کارایی مناسبی می‌باشد. بنابراین صحت‌سنجی مدل با استفاده از ۳۰ درصد باقیمانده داده‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که متوسط اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم به ترتیب برابر با ۰/۴۵ تن در هکتار و ۰/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. همچنین نتایج آماره‌های MBE، RMSE و NRMSE برای عملکرد دانه گندم به ترتیب برابر با ۰/۱۴ تن در هکتار، ۰/۵۲ تن در هکتار و ۰/۱۳ و برای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب، ۰/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۱۰ بود. آماره‌های EF و d برای عملکرد به ترتیب برابر با ۰/۳ و ۰/۹۹ و برای کارایی مصرف آب به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۰/۹۹ بود. بنابراین، دقت این مدل برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر قابل قبول بود و می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در سطح مزرعه استفاده کرد.

کلمات کلیدی: صحت سنجی مدل، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، گندم، مدل AquaCrop

www.lapbirjand.ac.ir

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی 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.

*- مسئول مکاتبه E-mail: a_eigder@ymail.com

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum*) مهم‌ترین گیاه زراعی ایران است به طوری که حدود ۴۵ درصد کالری و ۷۰ درصد پروتئین مصرفی مردم از این گیاه زراعی تأمین می‌شود. کاشت این گیاه زراعی در شرایط اقلیمی متنوع انجام می‌شود و تقریباً در همه استان‌های کشور کشت می‌شود (Tabatabaeefar, 2003). استان خوزستان به دلیل وجود رودهای مختلف، یکی از مناطق مهم برای کشت گندم در کشور محسوب می‌شود. با این وجود بهره‌وری مصرف آب گندم در این استان پایین بوده و در اکثر مناطق بین ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است (Farahani and Oweis, 2008; Tavakoli et al., 2008). اثرات تأمین آب آبیاری بر کشت گندم در دو مرحله از رشد بسیار حساس است. اولین مرحله، رشد بذر این گیاه است که به آب آبیاری کافی برای رشد نیاز دارد. مرحله دیگر نیز مرحله گلدهی تا دانه بستن گندم است (Tavakoli et al., 2008). با این وجود، مقدار آب آبیاری در کشاورزی و به خصوص کشت گندم بر عملکرد و بالطبع بر بهره‌وری مصرف آب اثر زیادی دارد (Blum, 2009; Farre and Faci, 2009; Geerts and Raes, 2009).

بررسی اثرات مقدار آب در دوره‌های متفاوت رشد گندم، نیازمند انجام آزمایش‌های زیادی در سطح مزارع انجام است. اجرای پایلوت‌های متعدد در سطح مزارع مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار خواهد بود. جهت رفع این مشکل، محققان مدل‌های گیاهی مختلفی را بسط داده‌اند تا با استفاده از آن‌ها بتوان سناریوهای مختلف تأمین آب را بر گیاهان زراعی بررسی کرد (Geerts and Raes, 2009). مدل AquaCrop از جمله مهم‌ترین مدل‌های زراعی است که توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) بسط داده شده است (Ansari et al., 2018) و به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کمتر، کاربردی بودن و دقت قابل قبول نسبت به سایر مدل‌های رشد گیاهی برتری دارد (Heng et al., 2009). از این مدل گیاهی تاکنون در تحقیقات متعددی استفاده شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به بررسی محققان بر روی گیاهان جو، ذرت، چغندرقند و ذرت اشاره کرد (Katerji et al., 2013; Masanganise et al., 2013; Hsiao et al., 2009; Heng et al., 2009). در تحقیقی که توسط Garcia-villa and Fereres (2012) با استفاده از مدل AquaCrop انجام شد؛ بررسی مدیریت آبیاری در مزارع جنوب اسپانیا بررسی شد. این محققان سناریوهایی از جمله کاهش سطوح کشت و یا افزایش قیمت محصول را با تغییر سطوح آبیاری بررسی کردند.

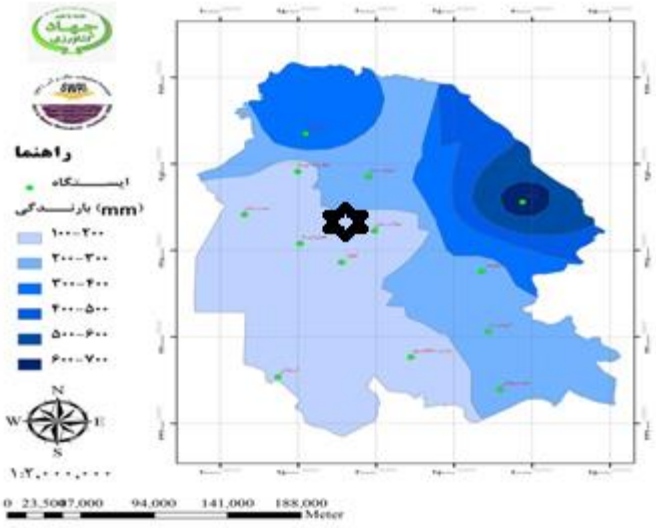
Mkhabela and Bullock (2012) از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در غرب کانادا استفاده کردند. این محققان نشان دادند که مدل AquaCrop دقت قابل قبولی برای شبیه‌سازی عملکرد داشت به طوری که ضریب تبیین گندم در تحقیق ایشان برابر با ۰/۶۶ بود. Mebane et al. (2013) از این مدل برای شبیه‌سازی گندم در منطقه پنسیلوانیا استفاده کردند. این محققان نیز گزارش کردند که این مدل دقت مناسبی داشت. Salemi et al. (2011) از مدلAquaCrop برای شبیه‌سازی اثر کم‌آبیاری و آبیاری کامل بر عملکرد گندم استفاده کردند. این محققان نشان دادند که این مدل دقت بالایی برای شبیه‌سازی عملکرد این گیاه زراعی داشت. Shamsnia and Pirmoradian (2013) عملکرد گندم را با استفاده از مدلAquaCrop در شرایط اقلیمی شیراز ارزیابی کردند. این محققان نشان دادند که دقت مدل AquaCropبرای شبیه‌سازی این گیاه زراعی مطلوب بود .

براساس مرور منابع، تاکنون توجه کمتری به ارزیابی دقت مدل AquaCrop تحت کشت زارعین شده است. بدین منظور، این پژوهش به منظور ارزیابی دقت مدل AquaCrop تحت کشت زارعین و براساس مقادیر مختلف تأمین آب آبیاری انجام شد.

www.iapb.kiau.ac.ir

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان خوزستان و در منطقه کوثر در حوضه کرخه اجرا شد. اراضی محدوده طرح کوثر به مساحت ۱۶۳۵۰ هکتار در حوضه کرخه و در طول جغرافیایی ‘۲۳ °۴۸ و عرض جغرافیایی ‘۳۰ °۳۱ واقع شده است. رودخانه دز به‌عنوان یک منبع تأمین‌کننده آب مورد نیاز آبیاری پروژه از حاشیه شرقی و رودخانه کرخه، دیگر گزینه منبع آب در فاصله نه‌چندان دور از حاشیه جنوبی طرح عبور می‌نمایند. خصوصیات اقلیمی محدوده طرح مانند دیگر نواحی دشت خوزستان در تابستان متأثر از توده‌های هوای گرم و خشک صحرایی آفریقا و بیابان‌های حجاز است. در سایر فصول تحت تأثیر آب‌وهوای مدیترانه‌ای، رطوبت نسبی بالا داشته و بارندگی کمی اتفاق می‌افتد. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی، به روش دومارتن به‌عنوان منطقه خشک و به روش آمبرژه منطقه بیابانی گرم طبقه‌بندی‌شده است. پهنه‌بندی متوسط بارش در منطقه مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. بافت خاک در محدوده مورد مطالعه به‌طور عمده سنگین تا خیلی سنگین است. آب زیرزمینی دارای نوسان زیاد بوده و در بیشتر ایام سال در عمق کمی از سطح زمین قرار دارد که سبب زه‌دار شدن اراضی می‌گردد. میزان رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم در این منطقه به ترتیب برابر با ۳۵ و ۲۴ درصد حجمی است. هدایت الکتریکی آب آبیاری نیز برابر با ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر است.



شکل ۱-میزان متوسط بارش در استان خوزستان و منطقه مورد نظر؛ که با علامت ستاره نشان داده شده است.

Fig 1-Average rainfall in Khuzistan and studied area, which is shown as star mark

جهت انجام این تحقیق، سه مزرعه به صورت تصادفی در طول ده سال (۱۳۸۷-۱۳۹۷) در این شبکه انتخاب شد. سپس کلیه اطلاعات مورد نیاز مدل Aquacrop از قبیل اطلاعات اقلیمی (نظیر حداقل و حداکثر دمای منطقه، دمای روزانه، میزان بارندگی و ...)، اطلاعات گیاهی (نظیر تاریخ کاشت و برداشت، عملکرد و...)، اطلاعات خاک و اطلاعات مدیریت مزرعه و آبیاری (نظیر کیفیت آب آبیاری، زمان و مقدار آب آبیاری و...) در این مزارع تعیین شد. مدل AquaCrop، با استفاده از داده‌های مذکور و با استفاده از رابطه (۱) مقدار عملکرد گندم را شبیه‌سازی می‌کند (Geerts and Raes, 2009).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \qquad (۱)$$

که در آن ، Y_x و Y_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_x و ET_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی

تبخیر-تعرق گیاه، و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق است. عملکرد و زیست‌توده کل نیز به ترتیب از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند.

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (۲)$$

$$Y = B \times HI \quad (۳)$$

که در این روابط، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی (رابطه ۴)، WP بهره‌وری آب، ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع، Y و B به ترتیب عملکرد و زیست‌توده خشک و HI شاخص برداشت است.

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (۴)$$

که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC توسعه پوشش تاج از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه (رابطه ۵) هستند.

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \quad (۵)$$

که در این رابطه، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. در این مدل، شدت تنش آبی (K_s) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. در واقع در صورت تنش کم آبی میزان تاج پوشش گیاهی کاهش یافته و به تبع آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد. میزان کارایی مصرف آب براساس رابطه (۶) محاسبه شد:

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (۶)$$

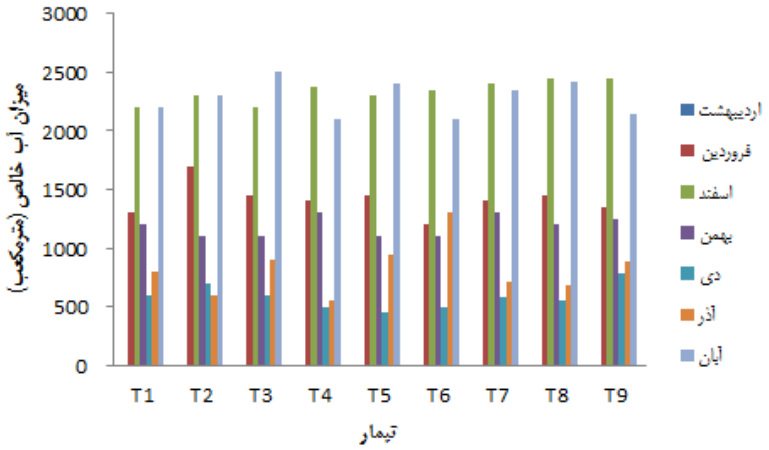
که در آن، WUE کارایی مصرف آب گندم (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد دانه گندم (کیلوگرم) و W مقدار آب مصرفی (مترمکعب) است.

به منظور واسنجی مدل AquaCrop، هفتاد درصد اطلاعات برداشت شده به صورت تصادفی انتخاب شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از این اطلاعات و براساس رابطه (۷)، تحلیل حساسیت انجام شد (Geerts and Raes, 2009).

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (۷)$$

که در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، Pm مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و Pb مقدار برآورد پارامتر مورد نظر بر اساس داده ورودی پایه می باشد. برای تحلیل حساسیت مدل به هر پارامتر، در هر مرحله یکی از عوامل ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد تغییر داده شده و هم زمان بقیه پارامترها نیز ثابت نگه داشته شدند (Geerts and Raes, 2009). در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، ۱۵< Sc حساسیت بالا، ۱۵> Sc > ۲ حساسیت متوسط، ۲> Sc حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). پس از تحلیل حساسیت، پارامترهای با حساسیت بیشتر از ۲ به منظور واسنجی مدل در نظر گرفته شدند. پس از واسنجی نیز صحت‌سنجی مدل انجام شد. به منظور صحت‌سنجی، ۳۰ درصد اطلاعات باقیمانده مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات شامل سه مزرعه و در سه زمان مختلف بود. بنابراین ۹ تیمار برای صحت‌سنجی در نظر گرفته شد که در این تحقیق به صورت T1 الی T9 نشان داده شده است. مقادیر آب در اختیار گذاشته شده برای هر کدام از این تیمارها در طول فصل زراعی در شکل (۲) نشان داده شده است.

www.japb.kiau.ac.ir



شکل ۲- میزان آب خالص هر تیمار

Fig 2-Net irrigation water for each treatment

معیار دقت این مدل در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) بررسی شد (Ahmadee et al., 2017). این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۸) تا (۱۳) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۸)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \quad (۹)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (۱۰)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۱)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \quad (۱۲)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum(P_i - \overline{P})^2 \sum(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۳)$$

که در آن‌ها، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، $\overline{O}$ 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 کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده‌ی دقت بسیار مطلوب مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، 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 AquaCrop، 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 برآورد کرده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا عدد ۱ در زمان برازش کامل داده‌ها، متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا عدد ۱ تغییر می‌کند و هر چه به این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

www.iapb.kiau.ac.ir

نتایج و بحث

نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، پارامترهای رطوبت خاک در نقاط پژمردگی دائم و اشباع حساسیت کمتری نسبت به تغییرات ورودی مدل داشتند. گرچه رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی نسبت به کاهش مقدار آن حساسیت متوسطی داشت. نتایج به دست آمده برای سایر پارامترها نیز نشان دهنده حساسیت متوسط مدل AquaCrop نسبت به تغییرات این پارامترها بود. با توجه به این نتایج، واسنجی مدل AquaCrop انجام شد. نتایج به دست آمده از واسنجی به همراه برخی مقادیر پیش‌فرض و اندازه‌گیری شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- ضریب حساسیت برخی عوامل ورودی مدل رشد گیاهی AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم

Table 1-Sensivity factor for some AquaCrop input parameters for simulation of the wheat grain yield and water use efficiency

Parameter پارامتر	Sensivity rate درجه حساسیت	Sc at -0.25% مقدارSc در حالت ۲۵٪-	Sc at +0.25% مقدارSc در حالت ۲۵٪+
رطوبت در ظرفیت زراعی moisture at FC	کم-متوسط low-average	4.6	1.5
رطوبت در نقطه پژمردگی moisture at PWP	کم-کم low-low	1.5	1.3
رطوبت در حالت اشباع moisture at saturation	کم-متوسط low-average	2.4	1.8
ضریب گیاهی برای تعرق crop transpiration coefficient	متوسط-متوسط average-average	8.8	9.6
عمق مؤثر ریشه effective rooting depth	متوسط-متوسط average-average	5.6	3.7
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه soil water depletion threshold for canopy expansion-upper	متوسط-متوسط average-average	3.3	7.2
حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه soil water depletion threshold for canopy expansion-lower	متوسط-متوسط average-average	6.7	3.9
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها soil water depletion threshold for canopy expansion-upper	متوسط-متوسط average-average	2.7	5.5
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری soil water shape factor for canopy expansion-upper	متوسط-متوسط average-average	6.4	3.1

www.iapb.kiau.ac.ir

جدول ۲- مقادیر پارامترهای ورودی مدل AquaCrop

Table 2-AquaCrop input parameters values

Parameter پارامتر	Description توضیح	Unit واحد	Value مقدار
دمای پایه base temperature	پیش‌فرض default	درجه‌سانتی‌گراد ˚C	0
دمای بالا high temperature	پیش‌فرض default	درجه سانتی‌گراد ˚C	26
ضریب رشد کانوپی canopy growth coefficient	پیش‌فرض default	درصد روز %.day^{-1}	4.9
پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی canopy cover at emergence	پیش‌فرض default	سانتی‌متر مربع cm^2	1.5
عمق مؤثر ریشه effective rooting depth	اندازه‌گیری measured	متر M	0.4
مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی time from cultivation to emergence	اندازه‌گیری measured	روز Day	14
مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی time from cultivation to maximum crop canopy	اندازه‌گیری measured	روز Day	105
مدت زمان کاشت تا دوره پیری time from cultivation to senescence	اندازه‌گیری measured	روز Day	140
مدت زمان کاشت تا برداشت محصول time from cultivation to maturity	اندازه‌گیری measured	روز Day	165
بهره‌وری آب نرمال شده normalized water productivity	واسنجی calibrated	گرم بر متر مربع g.m^{-2}	14
بیشینه رشد کانوپی maximum canopy cover	واسنجی calibrated	درصد %	92
حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه soil water depletion threshold for canopy expansion-upper	واسنجی calibrated	-	0.23
حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه soil water depletion threshold for canopy expansion-lower	واسنجی calibrated	-	0.67
ضریب رشد پوشش canopy growth coefficient	پیش‌فرض default	درصد روز %.day^{-1}	5.7
ضریب کاهش پوشش canopy decrease coefficient	واسنجی calibrated	درصد روز %.day^{-1}	8.1
ضریب گیاهی برای تعرق crop transpiration coefficient	واسنجی calibrated	درصد بر روز %.day^{-1}	1.05
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها soil water depletion threshold for canopy expansion-upper	واسنجی calibrated	-	2.2
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری soil water shape factor for canopy expansion-upper	واسنجی calibrated	-	2.8

www.japb.kiau.ac.ir

نتایج آماره‌های به دست آمده از مرحله واسنجی مدل AquaCrop نشان داد که این مدل دقت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم داشت. بر اساس مقادیر آماره‌های NRMSE و RMSE دقت این مدل بسیار مطلوب بود. مقدار آماره MBE نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم، دچار خطای بالاتر از حد واقعی شد. کارایی مدل AquaCrop در تعیین دو پارامتر مذکور نیز مناسب بود. پس از واسنجی، صحت‌سنجی این مدل انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از این مرحله، دقت مدل AquaCrop در تعیین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب به ترتیب خوب و بسیار خوب بود. نتایج آماره MBE نشان داد که این مدل برای تعیین هر دو پارامتر عملکرد دانه و کارای مصرف آب دچار خطای بالاتر از حد واقعی شد. آماره‌های EF و d نیز نشان داد که کارایی این مدل برای تعیین هر دو پارامتر مذکور مطلوب بود. نتایج به دست آمده با مشاهدات Mkhabela and Bullock (2012)، Mebane et al. (2013)، Salemi et al. (2011) و Shamsnia and Pirmoradian (2013) مطابقت داشت. این محققان نیز دقت این مدل را در تعیین عملکرد دانه گندم مناسب گزارش کردند.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی

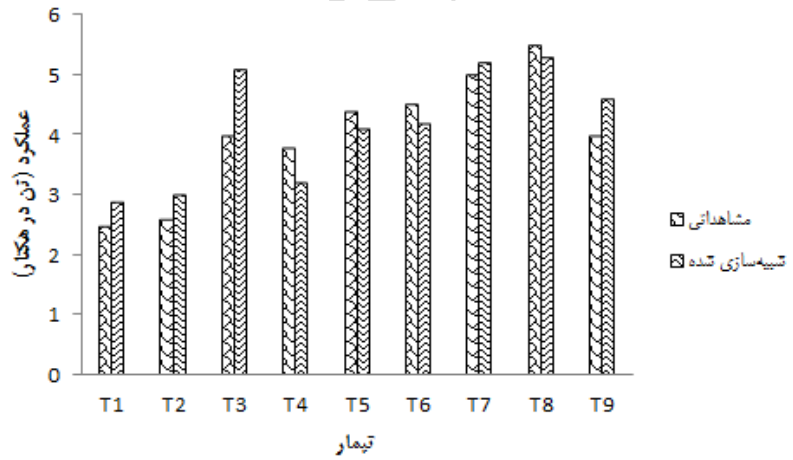
Table 3- Statistical criteria rates for simulating wheat yield and water use efficiency in calibration and validation stages

Stage مرحله	Parameter پارامتر	MBE	RMSE	NRMSE	EF	D
Calibration واسنجی	Grain Yield عملکرد دانه (تن بر هکتار)	0.09	0.40	0.04	0.60	0.99
	Water use efficiency کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	0.01	0.03	0.02	0.08	0.99
Validation صحت‌سنجی	Grain Yield عملکرد دانه (تن بر هکتار)	0.14	0.52	0.13	0.30	0.99
	Water use efficiency کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	0.01	0.06	0.10	0.10	0.99

مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه رای هر تیمار در مقابل نتایج مشاهده شده در شکل (۳) نشان داده شده است. کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده به ترتیب برابر با ۰/۲ و ۱/۱ تن بر هکتار بود. این مقادیر به ترتیب برای تیمارهای T7 (و T8) و T3 به دست آمد. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد دانه نیز برابر با ۰/۴۵ تن بر هکتار بود. این مقدار بیانگر ۱۲ درصد خطا برای شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم بود. بر اساس این نتایج، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد دانه مناسب بود. سایر محققان از جمله Mkhabela and Bullock (2012)، Mebane et al. (2013)، Salemi et al. (2011) و Shamsnia and Pirmoradian (2013) نیز دقت این مدل را مطلوب بیان کردند. مقادیر کارایی مصرف آب برای هر کدام از تیمارها در شکل (۴) نشان داده شده است. مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده و مشاهده شده نشان داد که کمترین و بیشترین اختلاف به ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر به ترتیب برای تیمارهای T6 (و T8) و T7 به دست آمد. متوسط اختلاف بین مقادیر

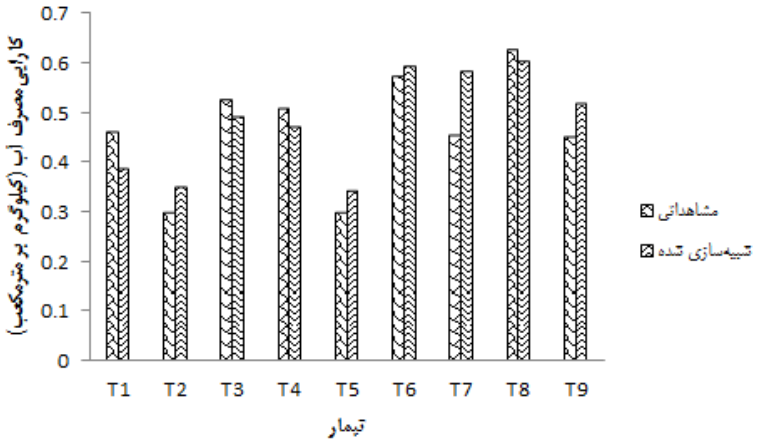
مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز برابر با ۰/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بیشترین عملکرد مشاهداتی در تیمارهای T8، T7، T6 و T5 مشاهده شد. مقادیر عملکرد این تیمارها به ترتیب برابر با ۵/۵، ۵، ۴/۵ و ۴/۴ تن در هکتار بود. مقایسه دو تیمار T8 و T7 نشان داد که اختلاف میزان تأمین آب برای این دو تیمار برابر با ۲۰ مترمکعب بود لیکن اختلاف عملکرد بین آن‌ها برابر با ۰/۵ تن به دست آمد. این اختلاف به دلیل تأمین آب مورد نیاز گندم در دوره‌های حساس رشد به خصوص اوایل دوره رشد و مرحله گلدهی بود (توکلی و اویس، ۲۰۰۲). مقادیر شبیه‌سازی عملکرد برای این دو تیمار به ترتیب برابر با ۵/۳ و ۵/۲ تن در هکتار بود. این مقادیر ۵۰ درصد کمتر از متوسط اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (۰/۴۵ تن در هکتار) بود. با توجه به این نتایج، اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی عملکرد بسیار کم بود.

بر اساس این نتایج، حساسیت مدل AquaCrop به تغییرات مقادیر آب در شرایط حساس رشد گندم پایین بود. بنابراین می‌توان به دقت این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم اعتماد کرد. از طرف دیگر، کمترین مقادیر آب در دسترس در تیمارهای T4 و T1 مشاهده شد. کل مقادیر آب در دسترس برای این دو تیمار برابر با ۸۲۴۰ و ۸۳۰۰ مترمکعب بود که نسبت به مقادیر آب در دسترس تیمار T8 به ترتیب ۵۲۰ و ۴۶۰ مترمکعب کمتر بود. اختلاف عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای این دو تیمار به ترتیب برابر با ۰/۶ و ۰/۴ تن در هکتار به دست آمد. مقایسه این نتایج با مقادیر به دست آمده برای دو تیمار T8 و T7 نشان داد که مدل AquaCrop در شرایط تأمین آب، کمتر دچار خطا شد. این نتایج توسط محققان دیگر از جمله هنگ و همکاران (۲۰۰۹) و سالمی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است.



شکل ۳-مقایسه عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده

Fig 3-Comparison between simulated and observed grain yield

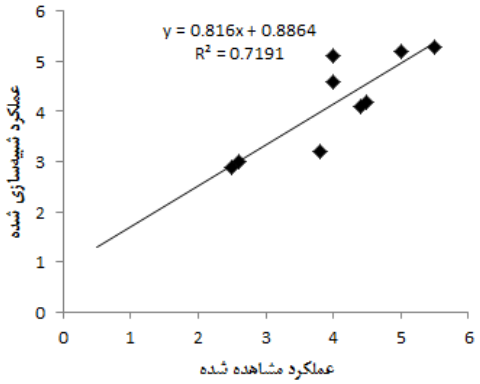


شکل ٤-مقایسه کارایی مصرف آب مشاهده شده با شبیه‌سازی شده

Fig 4-Comparison between simulated and observed water use efficiency

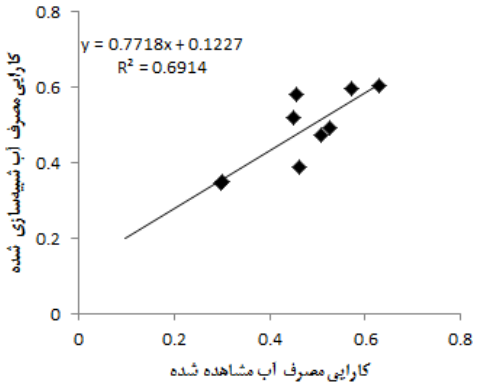
همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد برابر با ۰/۷۱ بود. Mkhabela and Bullock (2012) مقدار ۰/۶۶ را برای این مقدار در شبیه‌سازی گیاه گندم گزارش کردند. ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب نیز برابر با ۰/۶۹ بود. با توجه به این نتایج، مدل AquaCrop به خوبی توانست تغییرات عملکرد دانه و کارایی مصرف آب را نسبت به مقادیر مشاهده شده شبیه‌سازی کند.

معادله رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه نیز در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. براساس عرض از مبدا این معادلات، این مدل برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب دچار خطای بیش‌برآوردی شد. همچنین مقادیر عرض از مبدا نشان داد که عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقادیر پایین دقت کمتری نسبت به مقادیر مشاهده شده داشت. این موضوع برای کارایی مصرف آب از حساسیت کمتری برخوردار بود. شیب این معادلات نیز نشان داد که تغییرات نتایج شبیه‌سازی شده مدل با مقادیر مشاهده شده مطابقت خوبی داشت.



شکل ٥-همبستگی بین عملکرد دانه (تن در هکتار) مشاهده شده و شبیه‌سازی شده

Fig 5-Correlation between simulated and observed grain yield (ton. ha^{-1})



شکل ٦-همبستگی بین کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با AquaCrop

Fig 6-Correlation between simulated and observed water use efficiency (kg.m^{-3})

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop در مقادیر مناسب تأمین آب دقت بسیار بالاتری نسبت به شرایط کاهش آب در دسترس داشت. با این وجود، متوسط اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم به ترتیب برابر با ۰/۴۵ تن در هکتار و ۰/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بنابراین می‌توان به نتایج این مدل اعتماد کرد. نتایج به دست آمده از آماره‌ها نیز نشان داد که هرچند مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم دچار خطای بیش‌برآوردی (بالاتر از حد واقعی) شد، لیکن از دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی هر دو پارامتر برخوردار بوده و کارایی این مدل در تعیین هر دو پارامتر مناسب بود. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گیاه گندم در شرایط مزرعه پیشنهاد می‌شود.

www.iapb.kiau.ac.ir

References

فهرست منابع

Ahmadee, M., Khashei Siuki, A., and Sayyari, M. H. 2017. Comparison of efficiency of different equations to estimate the water requirement of saffron (Crocus sativus L.) (case study: Birjand plain, Iran). Journal of Agronomy, 8(4): 505-520. (in Persian with extended abstract in English).

Ansari, M. A., Egdernezhad, A., and Ebrahimipak, N. 2018. Potato Irrigation Planning based on Moisture depletion using AquaCrop. Agronomy and Plant Breeding. 14(3): 47-59. (in Persian with extended abstract in English).

Blum, F. A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research. 112: 119-123.

Farahani, H., and Oweis, T. 2008. Chapter I- Agricultural Water Productivity in Karkheh River Basin. In: Oweis, T., Farahani, H., Qadir, M., Anthofer, J., Siadat, H., Abbasi F., and Bruggeman A., (Eds). Improving On-farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers. ICARDA, Aleppo, Syria. IV+103 pp.

Farre, F., & Faci, J. M., 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 96: 384-394.

Garcia-Vila. M., Fereres, E. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. European Jornal of Agronomy. 36(1): 21-31.

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.

Heng, L.k., Hsiao, T.C., Evett, S., Howell, T., and Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for Irrigated and Water Deficient field maize, Agronomy Journal. 101(3):488-498.

Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., and Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agron.J. 101(3), 448-459.

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

Masanganise J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., and Mhizha, T. 2013. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. International Journal of Agricultural and Food Science. 3(4): 157-163.

Mebane, V. J., Day, R. L., Hamlett, J. M., Watson, J. E., and Roth, G. W. 2013. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. Agronomy Journal, 105(2):419-427.

Mkhabela, M. S. and Bullock, P. R. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. J. of Agric. Water Manag., 110: 16–24.

Montaya, F., Camargo, D., Ortega, J. F., Corcoles, J. I., Dominguez, A. 2016. Evaluation of AquaCrop model for a potato crop under different irrigation conditions, Agricultural Water Management. 164 (2): 267-280.

Salemi H., Mohd Soom M. A., Lee T. S., Mousavi S. F., Ganji A., and KamilYusoff, M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. African Journal of Agricultural Research, 610: 2204-2215.

Shamsnia S. A., and Pirmoradian N. 2013. Simulation of rainfed wheat yield response to climatic fluctuations using AquaCrop model (case study: Shiraz region in southern of Iran). International Journal of Engineering Science Invention, 2(4):51-56.

www.agbiau.ac.ir

Tabatabaeefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. International Agrophysics, 17: 207-211.

Tavakoli, A. R., Liaghat, A., Ashrafi, Sh., Abbasi, F. 2008. Chapter II- Supplemental Irrigation in Iran. In: Oweis, T., H., Farahani, H., M. Qadir,M.,J. Anthofer, J.,H. Siadat, H., F. Abbasi F., and A. Bruggeman A., (Eds). Improving On-farm Agricultural Water Productivity in theKarkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers. ICARDA, Aleppo, Syria. Iv+103.

www.iapb.kiau.ac.ir

ISSN NO: 2008-8485

Journal of Agronomy and Plant Breeding
Vol 15. No. 1, 2019

Evaluation of AquaCrop for Simulation of Wheat Grain Yield and Water Use Efficiency under Different Irrigation Condition in Farm

M. Abedi*[1], A. Egdernezhad*[2], N. A. Ebrahimipak[3]

Received date: 1 November 2018 Accepted date: 13 March 2019

Abstract

Wheat is one of the most important crops in the world. So, use of crop models helps to have an acceptable estimation of its grain yield in different conditions. Regarding that, in order to evaluate AquaCrop, as one of the most useful crop models, under different irrigation water condition in farm, this research was conducted in Kosar irrigation network located at Khuzistan province. Regarding that, long term data in three farms were collected. Then, 70 percent of data were used for calibration. AquaCrop validation results showed that this model had low error and good efficiency. AquaCrop were evaluated using the remaining 30 percent of data. Results showed that the difference between observed and simulated results for wheat grain yield and water use efficiency were 0.45 ton.ha-1 and 0.05 kg.m-3, respectively. In addition, MBE, RMSE and NRMSE results for wheat grain yield were 0.14 ton.ha-1, 0.52 ton.ha-1 and 0.13, respectively. Those results for water use efficiency were 0.01 kg.m-3, 0.06 kg.m-3 and 0.10, respectively. EF and d values for wheat grain yield 0.3 and 0.99, respectively, and those values for water use efficiency were 0.1 and 0.99, respectively. So, AquaCrop accuracy was acceptable for simulation of both parameters and it is recommended to use this model for simulation of mentioned parameters.

Keyword: AquaCrop Model, Model Validation, Water Use Efficiency, Wheat, Seed yield.

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 Sciences and Engineering, 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: a_eigder@ymail.com