دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و ششم، ۱۳۹۸

ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کلزای بهاره و رطوبت نیمرخ خاک تحت تنش‌های کم آبی

چنور بهرامی[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد[۲]، افشین خورسند[۳]، سینا بشارت[٤]، ابوالفضل مجنونی هریس[٥]

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱۸

چکیده

کلزا مهم‌ترین منبع روغن خوراکی پس از سویا و نخل خرما در جهان بوده و گیاه روغنی است که به طور گسترده در ایران کشت می‌شود. هدف از این تحقیق، تطبیق و آزمون توانایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد دانه کلزای بهاره، بیوماس و رطوبت خاک می‌باشد. در این تحقیق، مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کلزای بهاره تحت شرایط محدودیت آب در شرایط اقلیمی تبریز مورد استفاده قرار گرفت. طرح آزمایشی شامل چهار تیمار آبیاری I_1، I_2، I_3 و I_4 بترتیب برابر آبیاری معمولی کلزا، ۲۰، ۳۵ و ۵۰ درصد کمتر از نیاز پتانسیل بود که در چهار تکرار بصورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای دو سال زراعی ۸۹ و ۹۰ اجرا گردید. مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۸۹ واسنجی و داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۹۰ اعتبارسنجی گردید. براساس نتایج، مدل AquaCrop عملکرد دانه را برای هر دو سال با دقت زیاد پیش‌بینی نمود و رطوبت شبیه‌سازی‌شده توسط AquaCrop تمایل به پیروی کردن از روند داده‌های اندازه‌گیری داشت. بطور کلی شاخص‌های آماری NRMSE و d برای عملکرد نهایی محصول (۷/۰۵ درصد، ۰/۹۶)، رطوبت خاک (۱٦/۰۳ درصد و ۰/۷۷) بدست آمد. نتایج کلی نشان داد که AquaCrop یک مدل معتبر است و می‌تواند با درجه قابل اعتمادی از دقت برای بهینه‌سازی تولید کلزای بهاره و نیاز آبی در منطقه کرکج تبریز استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، عملکرد دانه، کرکج، کلزا

بهرامی، چ.، و. رضاوردی نژاد، ا. خورسند، س. بشارت و ا. مجنونی هریس. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کلزای بهاره و رطوبت نیمرخ خاک تحت تنش‌های کم آبی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳٦: ٦٦-۵۳.

۱- دانش آموخته ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: rezaverdinejad@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

٤- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مقدمه

گیاه کلزا دارای پتانسیل عملکرد بالا بوده و در بین دانه‌های روغنی از درصد روغن دانه بالایی (٤٠-٤٥ درصد) برخوردار است و در حال حاضر، کلزا نقطه ثقل طرح‌های افزایش تولید دانه‌های روغنی در کشور محسوب می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و پیش‌بینی عملکرد محصول، برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کارآمدتر فرآیندهای تولید محصول را میسر می‌سازد (سینگلز و همکاران، ۲۰۱۰؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ زین‌ینجیر و همکاران، ۲۰۱۱).

اکثر مدل‌های شبیه‌سازی پیچیده و کارگشا در دهه‌های اخیر توسعه داده شدند (سعادتی و همکاران، ۲۰۱۱). تلاش در مدل-کردن شبیه‌سازی محصول در درجه اول با هدف ادغام دانش فیزیولوژیکی، در اواخر سال ۱۹٦۰ توسط چندین گروه تحقیقاتی که در میان آنها دی‌ویت و همکاران بودند آغاز گردید (سعادتی و همکاران، ۲۰۱۱). مدل‌های گیاهی ثابت کرده‌اند که جهت برآورد عملکرد محصولات، ترکیب جامعی از مقادیر در شرایط فیزیولوژیکی (اعظم علی و همکاران، ۲۰۰۱؛ استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹) و برای ارزیابی گزینه مدیریت محصول، ابزار-های مفیدی می‌باشند (مابهایدهی و همکاران، ۲۰۱٤).

با توجه به اینکه مدل‌های شبیه‌سازی قبلی از پیچیدگی و تعداد پارامترهای ورودی زیادی برخوردار بودند، بنابراین تلاش-های زیادی از طرف FAO برای رسیدن به یک مدل جدید که از دقت، سادگی و توانایی زیادی برخوردار باشد صورت گرفت و این تلاش باعث بوجود آمدن مدل FAO AquaCrop که یک مدل مهندسی است، گردید (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹؛ نیاکودیا و استرونیجر، ۲۰۱٤). AquaCrop در مناطق مختلف جهان برای مشخص کردن پاسخ محصول به تنش آب (اعظم علی و همکاران، ۲۰۰۱؛ استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹؛ سینگلز و همکاران، ۲۰۱۰) توسعه برنامه‌ریزی کم آبیاری (گیرتز و همکاران، ۲۰۱۰)، بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه (گارسیاویلا و فرئز، ۲۰۱۲)، برای ارزیابی افزایش پتانسیل تولید محصول و مدیریت مزرعه (زین‌ینجیر و همکاران، ۲۰۱۱؛ آبرها و همکاران، ۲۰۱۲؛ میزها و همکاران، ۲۰۱٤)، ارزیابی تاثیر تغییرات آب و هوایی در تولید محصول (رائس و همکاران، ۲۰۱٤) و به منظور توسعه ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انجام عملیات مزرعه (کیوسی‌کانکیو و همکاران، ۲۰۱۳) به کار گرفته‌شده است. قدرت مدل و توانایی آن برای توصیف اثرات تنش آب که در زمان‌های خاصی در طول فصل رشد اتفاق می‌افتد توسط رائس و همکاران (۲۰۰۹) شرح داده‌شده است.

طی مطالعاتی که هنگ و همکاران (۲۰۰۹) جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop برای ذرت در سه منطقه با شرایط کاملا متفاوت انجام دادند، نتایج آنها نشان داد که مدل رشد بیوماس و عملکرد دانه را تحت شرایط بدون تنش آبی و با تنش‌های آبی متوسط به‌صورت رضایت‌بخش شبیه‌سازی می-کند. اما مدل AquaCrop برای تیمارهای با تنش آبی شدید مخصوصاً وقتی تنش آبی طی مرحله حساس رشد گیاه اتفاق بیفتد، نمی‌تواند این پارامترها را به‌صورت رضایت‌بخش شبیه-سازی نماید. هدف از تحقیق حاضر بررسی کارآیی مدل AquaCrop برای برآورد میزان عملکرد دانه، بیوماس و رطوبت نیمرخ خاک بصورت دینامیکی در خاک لوم شنی منطقه کرکج تبریز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

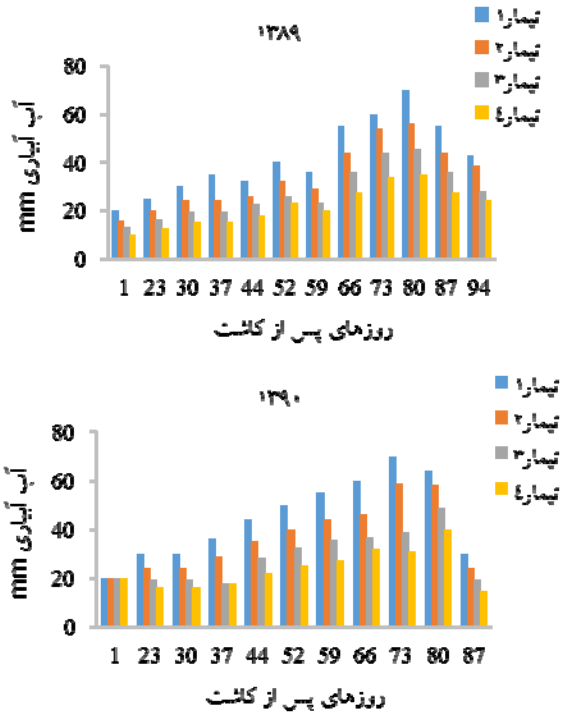
منطقه مورد مطالعه

آزمایش در جویچه‌هایی به عرض ۰/۵ متر در کرت‌هایی به طول ۵ متر، شامل ۸ ردیف کلزای بهاره (*Brassica napus L*) با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در زمینی به مساحت ٤۰۰ مترمربع در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در منطقه کرکج در طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ اجرا شد. طول و عرض جغرافیایی منطقه و ارتفاع آن از سطح دریا بترتیب برابر ٤٦° ۳۷′ شرقی، ۰۳′ ۳۷° شمالی و ۱۵٦۷/۳ متر می‌باشد (مجنونی هریس و همکاران، ۲۰۱٤). برای تخمین مقدار رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی یک کرت مربعی شکل ۲×۲m^2 در محل مزرعه ایجاد گردید. برای جلوگیری از تبخیر، سطح خاک کرت با پلاستیک پوشانده شد و در زمان‌های مختلف تا ۱۰۰ ساعت بعد از اشباع کردن، رطوبت خاک در فواصل ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/٤ و ۰/٦ متری از سطح خاک، با استفاده از نمونه‌برداری با مته و به روش وزنی، هفت روز (آبیاری نرمال منطقه) قبل از آبیاری تعیین شد. در نهایت متوسط رطوبت در حالت ظرفیت زراعی در عمق‌های ذکر شده بطور متوسط برابر ۰/۲۸ حجمی حاصل شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی پروفیل خاک (مقادیر میانگین).

عمق خاک (cm)	بافت خاک	رطوبت اشباع (%)	چگالی ظاهری (gcm^{-3})	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	رطوبت پژمردگی (%)	هدایت هیدرولیکی $mday^{-1}$)c(
۰-۶۰	لوم شنی	٤١	۱/۵۸	۲۸	۱۲	۳۵

در هر دو سال آزمایش کاشت کلزا در اوایل اردیبهشت و برداشت در اوایل مرداد ماه صورت گرفت. اعمال محدودیت در آبیاری بعد از استقرار کامل گیاه در مزرعه انجام شد و در هر دو سال ٤ آبیاری اول برای همه تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. برنامه آبیاری طرح برای تیمارهای مختلف هر دو سال، مطابق شکل ۱ می‌باشد (آبرها و همکاران، ۲۰۱۲؛ مجنونی هریس و همکاران، ۲۰۱٤). روش آبیاری اعمال شده در این تحقیق آبیاری جویچه‌ای انتها بسته بود که آب با استفاده از جویچه‌هایی ایجاد شده در مزرعه در اختیار ریشه قرار می‌گرفت. اولین آبیاری در هر دو سال به مقدار کافی با هدف خیس کردن خاک مزرعه از آب پس از کاشت انجام گرفت. جهت استقرار کامل گیاه اعمال محدودیت آب از آبیاری پنجم شروع شد. البته قبل آن هم به دلیل بارندگی اعمال محدودیت آب تا حدی مشکل بود. مقادیر آب آبیاری با افزایش شاخص سطح برگ بیشتر می‌شد، آخرین آبیاری در سال‌های آزمایشی اول و دوم به ترتیب برابر ۹۵ و ۹۳ روز پس از کاشت انجام پذیرفت. پارامترهای گیاهی ویژه طرح و واسنجی پارامترهای گیاهی در جدول ۲ ارائه شده‌اند.



شکل۱- مقادیر آب آبیاری در روزهای مختلف پس از کاشت در سال اول و دوم زراعی.

جدول ۲- پارامترهای گیاهی واسنجی شده AquaCrop برای کلزای بهاره در کرکج

پارامترها	مقادیر	واحد
محافظه کار		
دمای پایه رشد	۵/۰	(°C)
دمای بالا	٤۰	(°C)
ضریب رشد پوشش تاجی (CGC)	۷/۳	(% d^{-1})
ضریب کاهش پوشش تاجی (CDC)	۸/٤	(% d^{-1})
آستانهٔ بالای ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاجی	۰/۲	(-)
آستانهٔ پایین ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاجی	۰/۵۵	(-)
آستانهٔ بالای ضریب تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	۰/٦۵	(-)
آستانهٔ بالای ضریب تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه	۰/۷	(-)
ضریب شکل منحنی ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی گیاه	۳/۵	(-)
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	۵/۰	(-)
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی گیاه	۳/۰	(-)
زمان شروع پیری	۸۹	(day)
زمان شروع گلدهی	۷۹	(day)
بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)	۱۵/۳	(g m^{-2})
ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل ($Kc_{Tr,x}$)	۰/۹۹	(-)
مخصوص کاربر		
شاخص برداشت HI_o	۱۷	(%)
تراکم کشت (بوته در هکتار)	۸۰۰۰۰۰	(plants ha^{-1})
پوشش سطح اولیه (CC_o)	٤	(%)
حداکثر پوشش گیاهی (CC_x)	۸۷	(%)
زمان ظهور جوانه‌ها	۱۰	(day)
زمان ماکزیمم پوشش گیاهی	۸۷	(day)
زمان بلوغ کامل	۱۱٤	(day)
مدت زمان گلدهی	۲۱	(day)
حداکثر عمق ریشه	۹۲	(cm)
ماکزیمم عمق ریشه مؤثر	۷۹	(cm)
مینیمم عمق ریشه مؤثر	۳۰	(cm)

مدل FAO AquaCrop

AquaCrop یک مدل پویا و آب محور است که قادر به شبیه‌سازی عملکرد بدست‌آمده از محصولات گیاهی تحت مدیریت‌های مختلف و شرایط محیطی با استفاده از چندین پارامتر گیاهی و تعداد کمی متغیر ورودی است (رائس و همکاران، ۲۰۱٤). این مدل از معادله (۱) دورنباس و کاسام

(۱۹۷۹) از طریق تفکیک کردن تبخیر و تعرق واقعی (ETa) به تبخیر از سطح خاک (Es) و تعرق از سطح گیاه زراعی (Ta) و

$$\left[\frac{Y_X - Y_a}{Y_x}\right] = K_y\left[\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right] \quad (۱)$$

که در آن Y_x حداکثر عملکرد گیاه زراعی، Y_a عملکرد واقعی گیاه زراعی، ET_x حداکثر تبخیر و تعرق، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_y فاکتور تناسب بین افت عملکرد نسبی و کاهش نسبی در میزان تبخیر و تعرق است. مدل AquaCrop دارای ساختاری است که زنجیره‌ای از داده‌های خاک (بیلان آب در خاک) گیاه (فرآیندهای رشد و نمو و عملکرد) اقلیم (رژیم-های دمایی، بارش، تبخیر و ...) را برای مدلسازی گیاه زراعی به هم پیوند می‌دهد. علاوه بر این داده‌ها بعضی جنبه‌های مدیریتی (نظیر آبیاری، مالچ گیاهی یا مصنوعی، کوددهی و ...) می‌توانند در این مدل مدنظر قرار داده شوند. این ابعاد مدیریتی قادرند بر روی بیلان آبی خاک، رشد و نمو گیاه زراعی و در نتیجه عملکرد نهایی محصول اثرگذار باشند (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹؛ خورسند و همکاران، ۲۰۱٤).

ارزیابی مدل

با توجه به اینکه هیچ اندازه‌گیری به تنهایی نمی‌تواند نشان دهد که چگونه یک مدل به خوبی شبیه‌سازی را انجام داده است، ترکیبی از شاخص‌های آماری برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود (گاچ و همکاران، ۲۰۰۳؛ ایکبال و همکاران، ۲۰۱٤). سازگاری بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده با استفاده از چهار شاخص ارزیابی شامل مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده[1] (NRMSE)، ضریب باقیمانده[2] (CRM)، ضریب تبیین[3] (R^2) و شاخص تطابق[4] (d) مورد بررسی قرار گرفت:

$$NRMES = \frac{1}{\overline{O}} \times \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \times 100 \quad (۲)$$

$$CRM = 1 - \left(\sum_{i=1}^{n} Si \Big/ \sum_{i=1}^{n} Oi\right) \quad (۳)$$

1- Normal Root Mean Square Error
2- Coefficient of Residuals
3- Coefficient of Determination
4- Compatibility

عملکرد نهایی محصول (Y) به بیوماس (B) و شاخص برداشت (HI)، استنتاج شد (رائس و همکاران، ۲۰۱۲).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(S_i - \overline{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 \sum_{i=1}^{n}(S_i - \overline{S})^2}}\right]^2 \quad (٤)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|S_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|)^2} \quad (۵)$$

در این روابط S_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه-گیری شده، n تعداد مشاهدات و $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه-گیری‌شده می‌باشد. مقدار NRMSE ایده‌آل برای مدل‌سازی کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. NRMSE در بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در پیش-بینی و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده عدم اطمینان از مدل می‌باشد. آماره CRM نشانگر تمایل مدل (در حالت کلی) برای بیش برآورد (مقادیر منفی) و یا کم‌برآورد (مقادیر مثبت) در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. R^2 معیار پراکنش بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده است (سپاسخواه و همکاران، ۲۰۰٦؛ رائس و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص d به شکل وسیعی در بررسی عملکرد مدل‌ها استفاده می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان انطباق بین داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده است. هرچه مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیکتر باشد، میزان انطباق افزایش می‌یابد (بابازاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ ویلموت، ۱۹۸۲).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج مقادیر واسنجی پارامترهای گیاهی کلزا در جدول ۲ ارائه شده بود و برای ارزیابی مدل از داده‌های سال ۹۰ استفاده گردید. مقایسه مقادیر عملکرد محاسبه و پیش‌بینی‌شده توسط مدل در شکل ۲، برای کلزا طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی ارائه شده‌است. همچنین مقادیر کمی پارامترهای ارزیابی و

سنجش اعتبار مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه، در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج جدول ۳، مدل عملکرد محصول را با دقت مناسب شبیه‌سازی کرد. مقدار NRMSE برای هر دو سال کمتر از ۱۰ درصد بدست آمد که براساس این آماره، مدلسازی عملکرد، ایده‌آل است. مقادیر این آماره به ترتیب برای عملکرد واسنجی و اعتبار سنجی شده به‌ترتیب ۵/۹ و ۷/۰۵ درصد بدست آمد. همچنین با توجه به مقادیر R^2 و شکل ۲ مشاهده می‌گردد که مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده برای هر دو سال از همبستگی مناسبی برخوردار هست. فقط مدل در تنش‌های بیشتر، مقدار عملکرد را به خوبی شرایط آبیاری کامل نشان نمی‌دهد.

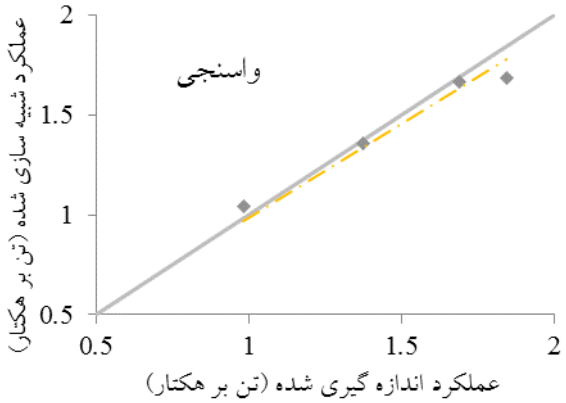
مقدار CRM نزدیک به صفر نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی و همچنین نزدیکی مقادیر مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. شاخص سازگاری (d) در نزدیکی یک قرار دارد که نشان‌دهنده سازگاری روند کاهش عملکرد با مقدار آب آبیاری در مدل با عملکرد واقعی است. مقادیر خطای نسبی (RE) برای همهٔ تیمارها در جدول ٤ آمده است. بر اساس این جدول، مقادیر RE_{max} و RE_{min} در مرحله واسنجی به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری I_1 و I_4 می‌باشد که مقادیر خطا به ترتیب ۸/۷۳ و ٦/۱۳- درصد و در مرحله اعتبارسنجی مقادیر RE_{max} و RE_{min} به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری I_4 و I_3 هست که مقادیر خطا به ترتیب ۸/۹۵ و ۱۰/۱۰- درصد بدست آمدند. RE مثبت نشان می‌دهد که مدل GY را کمتر از مقدار واقعی تخمین زده و مقادیر منفی RE نشان می‌دهد مدل پارامترها را بیشتر برآورد کرده است.

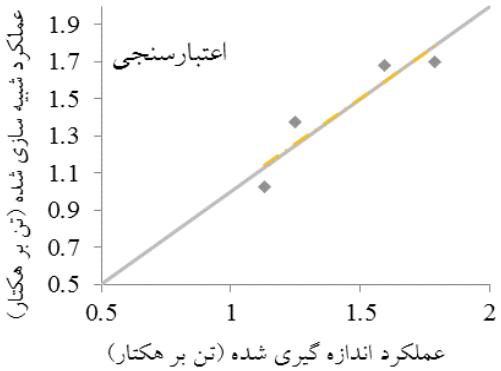
جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی‌شده GY توسط مدل برای واسنجی و اعتبارسنجی

سال	شاخص	NRMSE (%)	CRM (-)	d (-)	R^2 (-)
۱	GY	۵/۹۰	۰/۰۲۳	۰/۹۸	۰/۹۳
۲	GY	۷/۰۵	-۰/۰۰٤	۰/۹٦	۰/۸٦

جدول ٤- مقادیر خطای نسبی GY شبیه‌سازی شده توسط مدل

روش		واسنجی			اعتبارسنجی		
	تیمار	مشاهده‌ای	اندازه‌گیری شده	RE (%)	مشاهده‌ای	اندازه‌گیری شده	RE (%)
GY	I_1	۱/۸٤	۱/٦۸	۸/۷۳	۱/۷۹	۱/۷۰	٤/۸۷
	I_2	۱/٦۹	۱/٦٦	۱/۲۱	۱/٥۹	۱/٦۸	٥/٤٥
	I_3	۱/۳۷	۱/۳٥	۱/۱۹	۱/۲٥	۱/۳۷	-۱۰/۱۰
	I_4	۰/۹۸	۱/۰٤	-٦/۱۳	۱/۱۳	۱/۰۳	۸/۹٥





شکل ۲- مقایسه عملکرد اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده توسط مدل AquaCrop

زلک و همکاران (۲۰۱۱) مدل AquaCrop را برای ارزیابی عملکرد کلزا در منطقه نیمه‌خشک استرالیا تحت تنش‌های محیطی، مورد سنجش قرار دادند. بر اساس نتایج، مقدار درصد انحراف از عملکرد محصول در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب، ٤/٧ و ٢/١- درصد به دست آمد. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل قادر به شبیه‌سازی رضایت‌بخش عملکرد دانه می‌باشد و در شبیه‌سازی عملکرد در شرایط تنش شدید آب (به ویژه هنگامی که تنش در مرحله بعد از گلدهی رخ داده است) کمتر رضایت بخش بود. همچنین نتایج تحقیقاتی که توسط اروانه و عباسی (۱۳۹۳) بر روی کلزا در شهرستان دهلران انجام شد نشان داد، شبیه‌سازی‌های مدل برای عملکرد بسیار رضایت‌بخش بوده است. مقدار عملکرد اندازه‌گیری در مزرعه ۱۹۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود که مدل نیز مقدار عملکرد را ۱۸۳۷ کیلوگرم بر هکتار شبیه‌سازی کرد.

جدول ٦ - شاخص‌های آماری دینامیکی بیوماس شبیه‌سازی

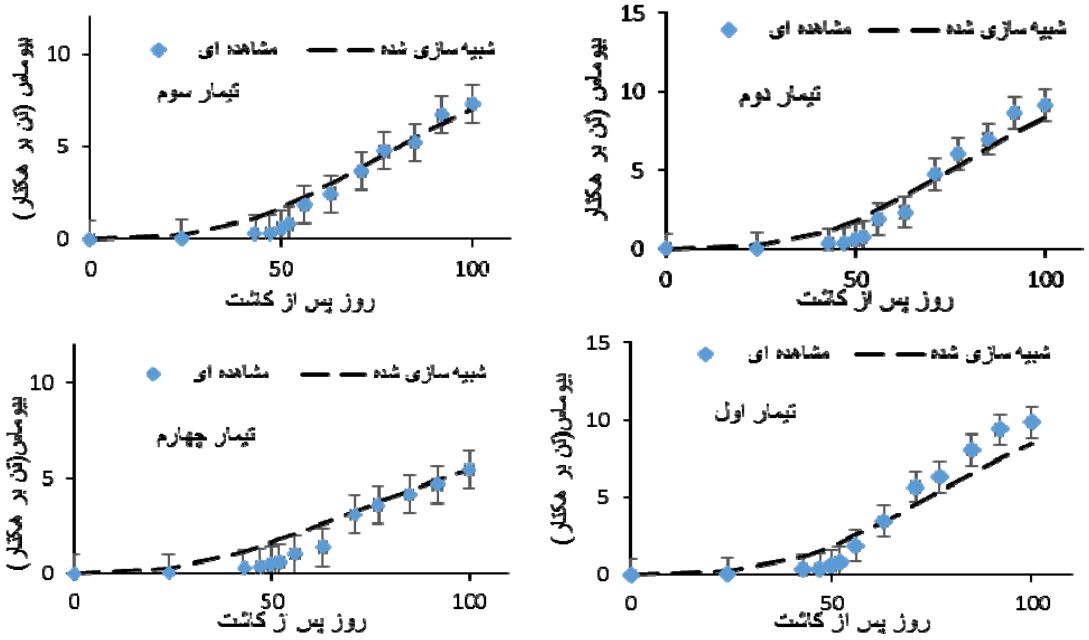
روش	تیمار	NRMSE (%)	RE (%)	CRM (-)	d (-)	R^2 (-)
واسنجی	I_1	٢٩/٦٦	-١/١٢	٠/٠٣٥	٠/٩٦	٠/٩٠
	I_2	٢٥/٩٥	-١/١٧	-٠/٠٥٩	٠/٩٨	٠/٨٩
	I_3	٢٣/٤٨	-١/١٤	-٠/١٣٩	٠/٩٨	٠/٨٩
	I_4	٣٨/١٥	-١/٧٥	-٠/٣٠٢	٠/٩٥	٠/٧٦
میانگین		٢٩/٣١	١/٢٩-	٠/١١٦-	٠/٩٧	٠/٨٦
اعتبارسنجی	I_1	٣٣/٧٧	٠/٠٦٩	٠/٢٢١	٠/٩٢	٠/٨٩
	I_2	٢٧/٢٣	-٠/٠٢٥	٠/١٤٩	٠/٩٥	٠/٩٣
	I_3	٨/٧٣	٠/٠٩٦-	٠/٠٣٢-	٠/٩٩	٠/٩٨
	I_4	١٣/٦٥	٠/٠٤١-	٠/٠٣٨	٠/٩٨	٠/٩٤
میانگین		٢٠/٨٣	-٠/٠٢٣	٠/٠٩٤	٠/٩٦	٠/٩٤

رشد دینامیکی بیوماس

شبیه‌سازی و پیش‌بینی بیوماس در زمان‌های ٢٤، ٤٣، ٤٧، ٥٠، ٥٢، ٥٦، ٦٣، ٧١، ٧٧، ٨٥، ٨٥، ٩٢، ١٠٠ روز پس از آبیاری برای واسنجی و در زمان‌های ٣٨، ٤٢، ٥٠، ٥٧، ٦٤، ٧١، ٧٩، ١٠٠ روز پس از آبیاری برای اعتبارسنجی در چهار تیمار انجام گردید. مقادیر شاخص‌های آماری واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ٦ آمده است. بر اساس این جدول حداکثر NRMSE برای تیمار-های I_4 (واسنجی) و I_1 (اعتبارسنجی) به‌ترتیب ٣٨/١٥ و ٣٣/٧٢ درصد و حداقل NRMSE برای تیمار I_3، در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی بترتیب ٢٣/٤٨ و ٨/٧٣ درصد بدست آمد. برای تیمارهای I_1، I_2 و I_3 مقادیر NRMSE بدست آمده در محدوده ٢٠ تا ٣٠ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده دقت متوسط مدل در واسنجی بیوماس است، اما مقدار NRMSE برای تیمار I_4 بیش

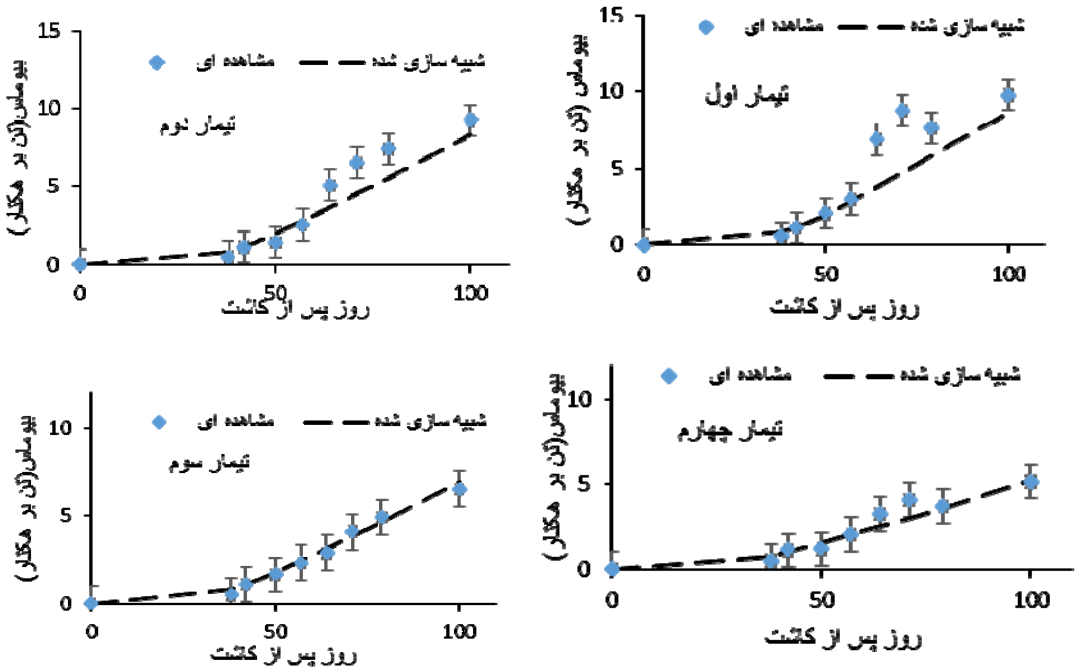
از ۳۰ درصد است که نشان‌دهنده عدم اطمینان مدل برای زمانی است که گیاه تحت تنش شدید آبی می‌باشد و این می‌تواند یکی از ضعف‌های مدل تحت تنش شدید به شمار بیاید. همچنین می‌توان به توزیع یکنواخت کمتر آب در این تیمار و دقت در اندازه‌گیری نیز اشاره‌ای داشت.

محدوده NRMSE ۸ تا ۲۷ درصد بدست آمده برای تیمارهای I_2، I_3 و I_4 در اعتبارسنجی دینامیکی بیوماس نشان می‌دهد که مدل AquaCrop ایده‌آل و متوسط می‌باشد. لازم به ذکر هست نتایج مدل برای سال دوم بهتر شده که از دلایل آن می‌توان به دقت بالای روش واسنجی (اعمال ±10 درصد تغییرات برای پارامترهای واسنجی‌شده) برای سال اول و همچنین افزایش دقت در اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در سال دوم اشاره کرد. نتایج دینامیکی بیوماس برای هر چهار تیمار در روزهای مختلف پس از کاشت کلزای بهاره در شکل ۳ و ٤ نشان داده شده است.



شکل ۳- بیوماس شبیه‌سازی و اندازه‌گیری برای چهار تیمار در سال ۸۹

طی پژوهشی که مابهایدهی و همکاران (۲۰۱٤) روی گیاه تارو (Taro) رقم اددو (eddoe) در آفریقای جنوبی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که شبیه‌سازی‌های مدل برای بیوماس و عملکرد محصول بسیار رضایت بخش بود. با وجود چالش های آشکار مدل در شبیه‌سازی پوشش تاج در شرایط دیم، مدل قادر به شبیه‌سازی بیوماس و عملکرد نهایی قابل قبولی بود. خورسند و همکاران (۲۰۱٤) 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، ۳/۸٤ و ٦/٦٥ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب، ٤/٦٥ و ٤/٥٥ درصد به دست آمد. بررسی‌های ایکبال و همکاران (۲۰۱٤) بر روی گندم در شمال چین برای بیوماس و عملکرد برای سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۰۱ نیز نشان داد که سازگاری نسبتاً خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد و همچنین بیان داشتند که انحرافات عمده بدست آمده در شرایط تنش شدید مشاهده گردیده است.



شکل ٤- بیوماس شبیه‌سازی و اندازه‌گیری برای چهار تیمار در سال ٩٠

در تحقیقی دیگر به منظور بررسی عملکرد مدل AquaCrop بر روی محصول گندم در شرایط دیم، مطالعه‌ای در فلات جنوبی چین انجام گرفت و داده‌های آزمایش مزرعه‌ای چند ساله برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی بیوماس و عملکرد دانه مورد استفاده قرار گرفت. براساس نتایج، محدوده خطا (ریشه میانگین مربعات) از ٠/١٦ تا ٠/٣٨ تن در هکتار برای شبیه‌سازی بیوماس و ٠/٥ تا ١/٤٤ تن در هکتار برای عملکرد دانه به دست آمد. به طور کلی، عملکرد مدل برای شبیه-سازی عملکرد از بیوماس دقیق‌تر بود و مدل قادر به شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط دیم می‌باشد (ژانگ و همکاران، ٢٠١٣). همچنین نتایج تحقیقی که توسط مخابلا و همکاران (٢٠١٢) بر روی گندم در کانادای غربی انجام شد نشان داد شبیه‌سازی‌های مدل برای عملکرد بسیار رضایت بخش بوده است.

رطوبت خاک

پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی رطوبت برای کلزای بهاره در جدول ٧ ارائه گردیده و همچنین مقادیر رطوبت حجمی شبیه‌سازی و مشاهده شده برای تیمار I_1 (به عنوان نمونه) طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در شکل ٥ و ٦ ارائه شده است.

با توجه به این اشکال، مشاهده می‌گردد که پراکنش مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی نسبت به هم، نسبتاً زیاد است که نمایه ضریب تبیین (R^2) آن را نشان می‌دهد. ضریب تبیین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی رطوبت در مرحلهٔ واسنجی ٠/٦٥ محاسبه شد که نشان می‌دهد مدل رطوبت را بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند. همچنین مقادیر ضریب تبیین در مرحله اعتبارسنجی ٠/٥٦ محاسبه گردید.

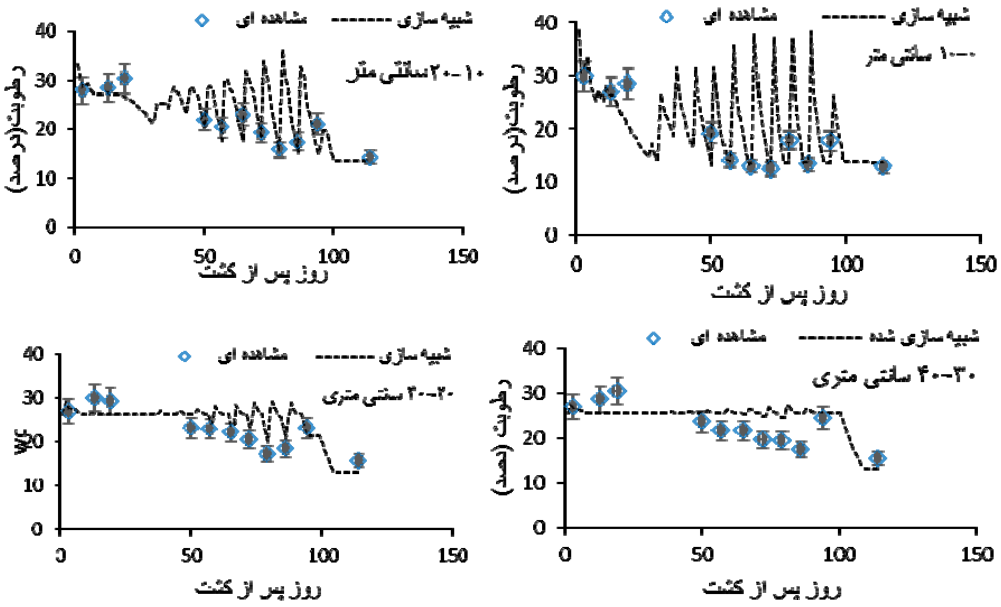
در مجموع این مدل رطوبت را کمتر از مقادیر واقعی پیش-بینی می‌کند که کوچکتر از یک شدن ضریب معادله خط برازش در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی این موضوع را مشخص می‌کند. دلایل احتمالی کم‌برآوردی مدل را می‌توان به نوع معادله حاکم بر بیلان آب نسبت داد که در آن برخی از عوامل مؤثر بر حرکت آب از قبیل جریانات ترجیحی و پدیده هیستریس در نظر گرفته نشده است (خورسند و همکاران، ١٣٩٣). همچنین با توجه به شکل‌های ٥ و ٦ مقادیر رطوبت شبیه‌سازی در عمق ٣٠ تا ٤٠ سانتی‌متری تقریبا بصورت خطی توسط مدل شبیه‌سازی شده است که از دلایل آن می‌توان به کاهش پیدا کردن جذب آب توسط ریشه در این عمق اشاره کرد.

جدول ۷- پارامترهای واسنجی شده برای رطوبت خاک

عمق خاک (cm)	رطوبت پژمردگی دائم (%)	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	رطوبت اشباع (%)	هدایت هیدرولیکی ($mmday^{-1}$)	چگالی ظاهری (gcm^{-3})
۰-۱۰	۱۶/۵	۲۷/۴	۴۰/۰	۳۵۱	۱/۵۸
۱۰-۲۰	۱۵/۰	۲۶/۹	۴۱/۱	۳۵۳	۱/۵۸
۲۰-۳۰	۱۵/۸	۲۷/۴	۴۱/۹	۳۵۳	۱/۵۸
۳۰-۴۰	۱۴/۱	۲۵/۵	۴۱/۳	۳۶۰	۱/۵۸
۴۰-۶۰	۱۳/۶	۲۵/۸	۴۱/۰	۳۶۱	۱/۵۸

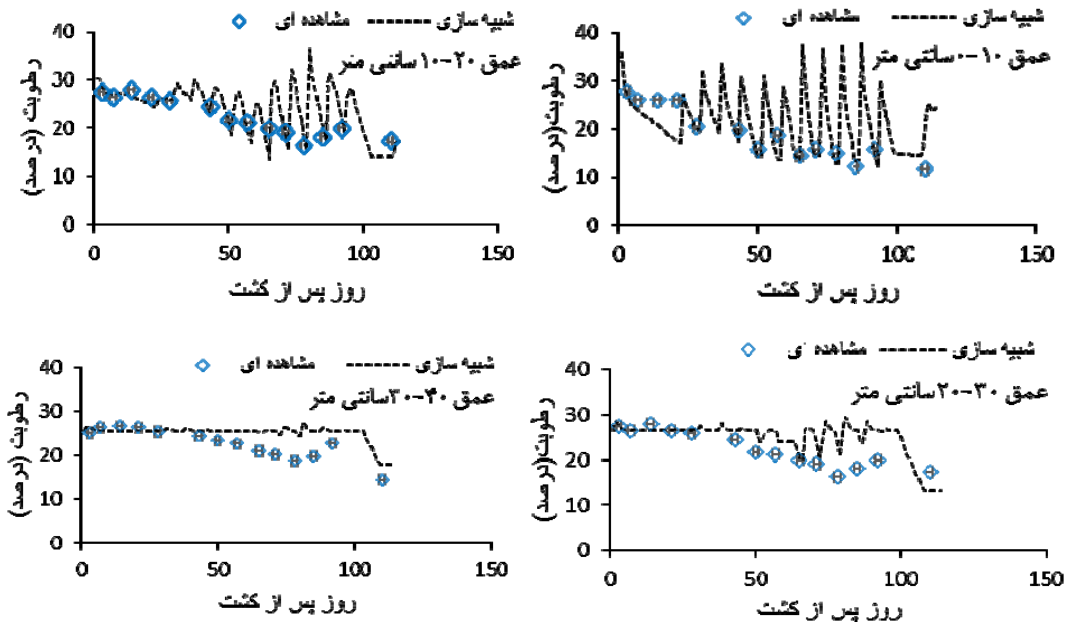
جدول ۸- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای رطوبت خاک (واسنجی و اعتبارسنجی)

روش	تیمار	NRMSE (%)	RE (%)	CRM (-)	d (-)	R^2 (-)
واسنجی	I_1	۱۵/۴۰	-۰/۶۱	۰/۰۰۶	۰/۸۰	۰/۶۳
	۲	۱۶/۸۹	-۱/۸	-۰/۰۰۱	۰/۷۰	۰/۵۹
	I_3	۱۶/۸۹	۵/۴۹	۰/۰۶۲	۰/۸۷	۰/۷۰
	I_4	۱۸/۱۳	۱/۷۳	۰/۰۴۴	/۸۸	۰/۶۹
میانگین		۱۶/۸۵	۱/۲۰	۰/۰۲۸	۰/۸۱	۰/۶۵
اعتبارسنجی	I_1	۱۵/۹۹	-۷/۸۰	-۰/۰۳۵	۰/۶۸	۰/۵۰
	I_2	۱۴/۸۸	-۰/۸۸	۰/۰۰۲	۰/۷۶	۰/۵۹
	I_3	۱۶/۵۴	۳/۴۳	۰/۰۴۷	۰/۸۲	۰/۵۸
	I_4	۱۶/۷۲	۲/۳۷	۰/۰۳۹	۰/۸۲	۰/۵۸
میانگین		۱۶/۰۳	-۰/۷۲	۰/۰۱۳	۰/۷۷	۰/۵۶



شکل ۵- مقایسه رطوبت حجمی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تیمار I_1 برای سال ۸۹

به منظور سنجش اعتبار مدل AquaCrop در تخمین رطوبت خاک، شاخص‌ها و پارامترهای ارزیابی، در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به این جدول، مقادیر مثبت برای CMR نشان می‌دهد که در مجموع مدل رطوبت را کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کند. مقدار RE_{max} بترتیب ۵/۴۹ (I_3) و ۳/۴۳ (I_3) درصد و همچنین RE_{min} به ترتیب ۱/۸- در تیمار I_2 و ۷/۸- درصد در تیمار I_1 در واسنجی و اعتبارسنجی مدل بدست آمد. شاخص NRMSE نیز برای هر دو سال برآورد گردید که در دامنهٔ ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد و نشان می‌دهد که مدل AquaCrop در پیش‌بینی رطوبت در وضعیت مناسب قرار دارد و رطوبت را با دقت زیاد در اعماق پایین‌تر پیش‌بینی نمی‌کند و این می‌تواند ضعف مدل در تخمین رطوبت نیمرخ خاک به حساب بیاید.



شکل ٦- مقایسه رطوبت حجمی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تیمار I_1 برای سال ۹۰

نتایج بررسی‌های خورسند و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که AquaCrop مقدار رطوبت خاک را با دقت نسبتاً مناسب پیش‌بینی می‌کند. آماره NRMSE برای ارقام روشن و قدس گندم در دامنهٔ ۱۰ تا ۲۰ درصد محاسبه گردید. اروانه و عباسی (۱۳۹۳) نیز تغییرات رطوبت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها به این شکل بود که مقادیر اندازه‌گیری‌شده رطوبت خاک از ۳۲ تا ۳۹ درصد در طول فصل رشد متغیر بود. مدل AquaCrop تغییرات رطوبت حجمی خاک را از ۳۲ تا ۳۷ درصد شبیه‌سازی کرد که همخوانی خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده داشت. کمی اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در ابتدای فصل زراعی شاید به خاطر خطا در اندازه‌گیری رطوبت اولیه خاک مزرعه مورد مطالعه بوده است. فراهانی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که AquaCrop رطوبت کل پروفیل خاک را بطور قابل قبولی شبیه‌سازی می‌کند با این حال مداوم تمایل به بیش برآوردی کل رطوبت خاک، به ویژه در تیمار کم آبیاری دارد. آرایا و همکاران (۲۰۱۰) برآورد کمتر از مقدار رطوبت خاک شبیه سازی‌شده را با استفاده از مدل AquaCrop تحت شرایط تنش شدید تایید کردند، هر چند به طور کلی یک تطابق کامل بین مجموعه داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری وجود داشت. زلک و همکاران (۲۰۱۱) برای کلزا تایید کردند که AquaCrop مقدار و روند رطوبت خاک را بصورت قابل قبولی شبیه‌سازی می‌کند، اما تمایل به زیاد برآورد کردن در فصل برداشت وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کالیبراسیون مدل AquaCrop به همراه اعتبارسنجی کلزای بهاره تحت شرایط کم آبیاری در شرایط آب و هوایی منطقه کرکج تبریز مورد آزمایش قرار گرفت. ارزیابی مدل AquaCrop نشان داد که این مدل قادر به شبیه‌سازی رطوبت خاک منطقه ریشه، بیوماس و عملکرد دانه با دقت بالا می‌باشد. در مدل AquaCrop، مقدار خطای نرمال‌شده پیش-

بینی برای عملکرد، کمتر از ۱۰ درصد به‌دست آمد. AquaCrop مقدار رطوبت را با دقت نسبتاً مناسب پیش‌بینی کرد. به‌طور کلی شاخص‌های آماری NRMSE و CRM و R^2 و d طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی برای عملکرد نهایی محصول (۵/۹ و ۷/۰۵ درصد، ۰/۰۲۳ و ۰/۰٤ درصد، ۰/۹۳ و ۰/۸٦، ۰/۹۸ و ۰/۹٦)، بیوماس (۵/۰۳ و ۱۸/۹۲ درصد، ۰/۰۱۸ و ۰/۱۵۸- درصد، ۰/۹۸ و ۰/۸۸، ۰/۹۸ و ۰/۸۸)، رطوبت خاک (۱٦/۸۵ و ۱٦/۰۳درصد، ۰/۰۲۸ و ۰/۰۱۳ درصد، ۰/۰۸۱ و ۰/۷۷، ۰/٦۵ و ۰/۵٦) بدست آمد که با مطالعات ایکبال و همکاران (۲۰۱٤) همخوانی قابل قبولی دارد. مدل AquaCrop را می‌توان با درجه قابل اعتمادی از دقت تحت تنش آبی خفیف برای تعیین مراحل کمترین حساسیت و آستانه تنش دوره رشد مورد استفاده قرار داد که برای طراحی و ارزیابی استراتژی‌های کم آبیاری ابزاری مفید و کارآمد می‌باشد.

منابع

اروانه، ح.، و ف. عباسی. ۱۳۹۳. واسنجی و صحت سنجی مدل آکواکراپ برای کلزا در شرایط مزرعه. پژوهش آب ایران. جلد ۸، شماره ١٤: ۱۷-۹.

بابازاده، ح.، و م. سرایی تبریزی. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل آکواکراپ تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا. نشریه آب و خاک. جلد ۲، شماره ۲٦: ۳۲۹-۳۳۹.

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 ٤، شماره ۱: ۱۰٤-۸۹.

علیزاده، ح.، ب. نظری.، م. پارسی نژاد.، ه. رمضانی اعتدالی و ح. جانباز. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل آکواکراپ در مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه کرج. تحقیقات آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲، جلد ٤: ۲۸۳-۲۷۳.

Araya, A., S.D. Keesstra, L. Stroosnijder. 2010. Simulating yield response to waterof Teff (Eragrostis tef) with FAO's AquaCrop model. Agriculture Water Manage. 116: 196–204.

Abarha, B., N. Delbecque, D. Raes, A. Tsegay, M. Todorovic, L. Heng, E. Vanuytrecht, S. Geerts, M. Garcia-Vila and S .Deckers .2012. Sowing strategies for barley based on modelled yield response to water with AquaCrop. Experimental agriculture. 48: 252-271.

Azam-Ali, S.N., A .Sesay, S .Karikari, FJ .Massawe, J .Aguilar-Manjarrez, M .Bannayan and KJ .Hampson .2001. Assessing the potential of an underutilized crop – a casestudy using bambara groundnut. Experimental agriculture. 37: 433–472.

Cusicanqui, J., K. Dillen., M .Garcia, S. Geerts, D .Raes and E .Mathijs. 2013. Economic assessment at farm level of the implementation of deficit irrigation for quinoa production in the Southern Bolivian Altiplano. Agricultural Research. 11:894-907.

Doorenbos, J., WO. Pruitt .1977. Crop water requirement. Irrigation and Drainage Paper No. 24, Food and Agriculture Organisation (FAO), Rome, Italy, 193.

Farahani, H.J., G. Izzi and T.Y .Oweis .2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. Agronomy. 101: 469-476.

García-Vila, M and E .Fereres .2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. Agronomy. 36: 21-31.

Gauch, H.G., J.T.G. Hwang and GW .Fick. 2003. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. Agronomy. 95: 1442-1446.

Geerts, S., D .Raes and M .Garcia .2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. Agriculture Water Management. 98: 213–216.

Heng, .L.K., S.R .Evett, T.A .Howell and TC .Hsiao .2009. Calibration and testing of Food and Agriculture Organization AquaCrop model for maize in several locations. Agronomy. 101(3): 488-498.

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. Agriculture Water Manage. 135:61-72.

Khorsand, A., V. Rezaverdinejad and A .Shahidi .2014. Comparison of Food and Agriculture Organization AquaCrop and SWAP agro-hydrological models to simulate water and salt transport during growing season of winter wheat. Internationa Biosciences. 4: 223-233.

Mhizha, T., S. Geerts, E. Vanuytrecht, A .Makarau, D. Raes. 2014. Use of the FAO AquaCrop model in developing sowing guidelines for rainfed maize in Zimbabwe. Water SA 40 (in press). Available on website: http://www.wrc.org.

Mkhabela, M. S., and P. R .Bullock. 2012. Performance of the Food and Agriculture Organization AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. Agricultural Water Management. 110: 16-24.

Majnooni-Heris, A., A.H .Nazemi and A. Ashraf-Sadraddini .2014. Effects of deficit irrigation on the yield, yield components, water and irrigation water use efficiency of spring canola. Biodiversity and Environmental Sciences. 5: 44-53.

Nyakudya, I.W and L. Stroosnijder .2014. Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (Zea mays L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: Modelling with AquaCrop. Agricultural Water Management. 146: 280-296.

Raes, D., P .Steduto, T.C .Hsiao, E .Fereres .2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. Agronomy. 101:438-447.

Raes, D., P .Steduto, T.C .Hsiao, E .Fereres .2012. Reference Manual AquaCrop (Version 4.0). AquaCrop Website http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html Refsgaard, J.C., van der Sluijs, J.P.

Raes, D., E .Vanuytrecht, P .Steduto, TC .Hsiao, E .Fereres, LK .Heng, and P. M .Moreno. 2014. AquaCrop: FAO'S crop water productivity and yield response model. Environ. Model. Softw.

Saadati, Z., N .Pirmoradian and M .Rezaei. 2011. Calibration and evaluation of aquacrop model in rice growth simulation under different irrigation managements. International Congress on Irrigation and Drainage. 21:15-23.

Sepaskhah, A.R., A.R .Bazrafshan-Jahromi and Z .Shirmohammadi-Aliakbarkhani .2006. Development and Evaluation of a Model for Yield Production of Wheat, Maize and Sugarbeet under Water and Salt Stresses. Biosystems Engineering. 93: 139-152.

Singels, A., C.T .Crosby, G.C .Green, PS .Van Heerden, W .Durand, J.M .De Jager, JM .Steyn, NG .Inman-Bamber, RE .Schulze, LD .Van Rensburg and JG .Annandale .2010. Modelling crop growth and water relations in South Africa: past achieve-ments and lessons for the future. South Africa Plant Soil .27: 49-65.

Singh, A.K., R. Tripathy and U.K. Chopra. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water Nitrogen interactions in wheat crop. Agriculture Water Manage. 95: 776–786.

Steduto, P., T.C .Hsiao, Raes D and Fereres E. 2009. AquaCrop the Food and Agriculture Organization model to simulate yield response to water. Agronomy. 101: 426–437.

Mabhaudhi, T., A.T .Modi and Y.G .Beletse .2014. Parameterisation and evaluation of the Food and Agriculture Organization Aquacrop model for a South African taro (Colocasia esculenta L. Schott) landrace. Agricultural and Forest Meteorology.192.pp:132-139.

Willmott, C.J.1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society. 63: 1309-1313.

Zeleke, K.T., D .Luckett and R .Cowley. 2011. Calibration and testing of the Food and Agriculture Organization AquaCrop model for canola. Agronomy. 103: 1610-1618.

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 Science and Technology. 68: 821-828.

Zinyengere, N., T.Mhizha, E .Mashonjowa, B .Chipindu, S .Geerts, D .Raes .2011. Using seasonal climate forecasts to improve maize production decision support in Zimbabwe. Agric. Forest Meteorol. 151: 1792–1799.

Assessment of AquaCrop Model for Simulating Spring Canola Yield and Soil Water under Water Stresses

C. Bahrami[1], V. Rezaverdinejad[2], A. Khorsand[3], S. Besharat[4], A. Majnooni-Heris[5]

Received: 2016-10-4 Accepted: 2016-12-8

Abstract

Rapeseed is the most important edible oil source after soybean and palm in the world and is the most widely cultivated oilseed crop in Iran. The objective of this study was to adapt and test the ability of the AquaCrop model to simulate canola grain yield, biomass and soil water content. In this study, the dynamic simulation model AquaCrop for plant growth under conditions of limited water spring was used in climate Tabriz. The experimental design included four treatments I_1, I_2, I_3 and I_4 respectively regular watering of rape, 20, 35 and 50 percent less than its potential needs in four replicates in a randomized complete block design was carried out for two years 2010 and 2011. AquaCrop model using the measured data in 2010 calibration and validation data were measured in 2011. Based on found results, the AquaCrop model predicted the GY at maturity with a good precision and soil water simulated by AquaCrop tends to follow closely the trend in the measured data. In general, statistical indicators NRMSE and d for the final performance of the product (7.05%, 0.96), soil water content (16.03% and 0.77), respectively. The overall results showed that AquaCrop is a valid model and can be used with a reliable degree of accuracy for optimizing canola grain yield production and water requirement in the region Karkag of Tabriz.

Keywords: Biomass, canola, grain yield, Karkag

1- MSc Student of Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
3 - Ph.D. Student Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
5- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran