نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۳، مرداد - شهریور ۱۳۹۸، ص. ۷۲۶-۷۱۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 13, Agu.-Sept. 2019, p. 715-726

ارزیابی مدل‌های AquaCrop، Wofost و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین

نیاز علی ابراهیمی پاک[1*]، اصلان اگدرنژاد[2]، آرش تافته[3] و محسن احمدی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۰

چکیده

در این پژوهش به منظور ارزیابی سه مدل گیاهی AquaCrop، WOFOST و CropSyst از داده‌های دو سال زراعی (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱) ایستگاه تحقیقاتی اسماعیل آباد قزوین استفاده شد. این آزمایش شامل دوازده تیمار کم‌آبیاری (T1 تا T12) و آبیاری کامل (FI) در دوره‌های مختلف رشد کلزا بود. نتایج نشان داد که هر سه مدل گیاهی نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسط داشتند و تنها مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامتر ضریب گیاهی برای تعرق حساسیت بالا نشان داد. متوسط اختلاف مقادیر عملکرد بذر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst به ترتیب برابر با ۱۰/۲، ۱۲/۱ و ۱۲/۶ درصد بود. نتایج آماره RMSE عملکرد بذر کلزا برای مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst به ترتیب برابر با ۰/۲۱۶، ۰/۲۸۶ و ۰/۳۲۲ تن بر هکتار بود. نتایج این آماره برای شبیه‌سازی پارامتر زیست‌توده توسط مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst به ترتیب برابر با ۰/۲۲۳، ۰/۴۱۸ و ۰/۴۴۶ تن بر هکتار بود. آماره NRMSE برای مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst در تعیین عملکرد به ترتیب برابر با ۰/۱۰، ۰/۱۳ و ۰/۱۵ و در تعیین زیست‌توده برابر با ۰/۰۴، ۰/۰۹ و ۰/۰۹ بود. نتایج آماره EF نیز نشان داد که مدل AquaCrop بهترین کارایی را در تعیین عملکرد (۰/۵۷) و زیست‌توده (۰/۹۱) داشت. بنابراین می‌توان دقت مدل AquaCrop را بهتر از دو مدل دیگر دانست.

واژه‌های کلیدی: زیست توده، سناریوهای کم‌آبیاری، کارائی مصرف آب، مدل‌های گیاهی

مقدمه

کلزا[5] از جمله گیاهانی است که کشت آن به خاطر دانه‌های روغنی و مصارف غذایی رو به افزایش است (Reddy and Redi, 2003). فواید این محصول از جمله وجود اسیدهای چرب غیراشباع و پروتئین سبب شده است تا جایگاه قابل توجهی در بازار تولیدات روغنی داشته باشد. ارزش غذایی این محصول و سازگاری آن با اقلیم‌های مختلف باعث شده است تا این گیاه در اکثر نقاط کشور کشت شود (Zomorodian et l., 2010). گرچه تولید این محصول اهمیت قابل توجهی در صنایع غذایی دارد، لیکن وضعیت منابع آب کشور منجر به اعمال سناریوهایی برای کاهش میزان آب آبیاری محصولات مختلف کشاورزی از جمله کلزا شده است (Mousavizadeh et al., 2016). از طرفی، محدود بودن بودجه‌های تحقیقاتی و زمان‌بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای برای بررسی واکنش این محصول به سناریوهای مختلف کم‌آبیاری، سبب شده است تا مدل‌های گیاهی بدین منظور مورد توجه قرار گیرند (Boogaard et al., 1988; Van Dam et al., 1997; Geerts and Raes, 2009; Raes et al., 2009).

تاکنون مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی محصولات مختلف گیاهی بسط داده شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به AquaCrop، WOFOST و CropSyst اشاره کرد. کلیه مدل‌های گیاهی براساس سه ماژول به شبیه‌سازی محصولات کشاورزی می‌پردازند. این ماژول‌ها با در نظر گرفتن تولید محصول براساس تبدیل یکی از منابع غذایی گیاه شامل کربن، تابش و آب است. به همین دلیل کلیه مدل‌های گیاهی به سه دسته کربن محور، تابش محور و آب محور تقسیم می‌شوند (Todorovic et al., 2009). مدل AquaCrop از جمله مدل‌های آب محور است که توسط سازمان

۱- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- دکتری آبیاری و زهکشی
(* نویسنده مسئول: Email: nebrahimipak@yahoo.com)

5- *Brassica napus*

www.SID.ir

Archive of SID

خوار و بار کشاورزی (فائو) ارائه شده است. این مدل به دلیل کاربرپسند بودن و نیاز به داده‌های در دسترس، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مدل WOFOST یکی از مدل‌های کربن محور است که در طی مطالعات جهانی امنیت غذا و پتانسیل جهانی تولید غذا، توسط مرکز جهانی مطالعات غذایی با همکاری دانشگاه واگنینگن و مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک تولید شد (Bouman et al., 1996). مدل CropSyst نیز یکی از مدل‌های تابش محور مطرح در شبیه‌سازی محصولات است که توسط استوکل و نلسون ارائه گردیده است (Stockle and Nelson, 1996).

با توجه به اهمیت این مدل‌های گیاهی تاکنون مطالعات بی‌شماری بر روی این مدل‌ها انجام شده است. تاکنون مدل CropSyst برای شبیه‌سازی برخی محصولات کشاورزی مانند ذرت (Bellocchi et al., 2002)، گندم (Moriondo et al., 2007) و یونجه (Confalonieri et al., 2009) اشاره کرد. تحقیقات انجام شده با استفاده از مدل WOFOST نیز نشان داده است که این مدل توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی محصولات مختلف دارد. از جمله این تحقیقات می‌توان به واسنجی و شبیه‌سازی این مدل برای محصولات گندم و جو (Eitzinger et al., 2004)، ذرت (Yang et al., 2004)، گندم (Marletto et al., 2007; Song et al., 2006) و برنج (Confalonieri and Bocchi, 2005) اشاره کرد. مدل گیاهی AquaCrop نیز یکی از مدل‌های گیاهی است که محققانی بسیاری به واسنجی آن برای شبیه‌سازی محصولات مختلف کشاورزی پرداخته‌اند. به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات انجام شده با استفاده از این مدل برای محصولات جو (Araya et al., 2010)، ذرت و چغندرقند (Stricevic et al., 2011)، گندم (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵)، ذرت (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۳؛ حسن‌لی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Heng et al., 2009; Hsiao et al., 2009; Katerji et al., 2013; Masanganise et al., 2013) و آفتابگردان (حیدری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱) اشاره کرد.

علی‌رغم وجود منابع مختلف در خصوص استفاده از این سه مدل برای واسنجی و شبیه‌سازی محصولات مختلف، تاکنون تحقیقات محدودی در خصوص گیاه کلزا با استفاده از این مدل‌ها انجام شده است. از جمله محدود مطالعاتی که با استفاده از مدل CropSyst روی کلزا انجام شده است می‌توان به تحقیقات هنر و همکاران (۱۳۹۰) اشاره کرد. این محققان مدل CropSyst را برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا واسنجی کردند. سپس با شبیه‌سازی این مدل نشان دادند که نتایج به دست آمده تطابق بالایی با نتایج مزرعه‌ای داشتند. مجرد و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به بررسی نقش عوامل آب و هوایی در تعیین تاریخ کشت و طول دوره رشد کلزا با استفاده از مدل CropSysyt پرداختند. نتایج این محققان براساس مدل CropSyst بیانگر اعتماد به این مدل جهت ارائه نتایج قابل قبول بود. جیلاردلی و همکاران نیز با واسنجی و صحت‌سنجی مدل WOFOST به این نتیجه رسیدند که این مدل دقت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا داشت (Gilardelli et al., 2016). در تحقیقی اروانه و همکاران (Arvaneh et al., 2011) از داده‌های برداشت شده یک مزرعه کلزا در دهلران برای واسنجی مدل AquaCrop استفاده کردند. پس از واسنجی، این محققان به شبیه‌سازی عملکرد کلزا با استفاده از این مدل پرداختند و نشان دادند که نتایج به دست آمده تطابق قابل قبولی با نتایج مزرعه‌ای داشت. زلک و همکاران و موسوی‌زاده و همکاران نیز با واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای محصول کلزا گزارش کردند که این مدل توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا داشت (Mousavizadeh et al., 2016; Zeleke et al., 2011).

هدف از انجام این تحقیق، واسنجی و سپس ارزیابی مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد دانه، زیست توده و کارایی مصرف آب گیاه کلزا بود. با توجه به اینکه مطالعات محدودی در خصوص ارزیابی این سه مدل برای محصولات کشاورزی در جهان انجام شده است، ارزیابی این مدل‌ها برای گیاه کلزا و در شرایط دشت قزوین از جمله نوآوری‌های این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

روش آزمایش

تحقیق حاضر در طی دو سال زراعی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ در ایستگاه تحقیقاتی اسماعیل آباد قزوین (طول جغرافیایی ´۸ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۸ °۳۶ شمالی و ارتفاع ۱۲۴۰ متر از سطح دریا) برای ۱۲ تیمار انجام شد. هر تیمار در کرتی با مساحت ۲۴ متر مربع (طول ۶ و عرض ۴ متر) مورد آزمایش قرار گرفت. این تیمارها براساس تقسیم‌بندی دوره رشد کلزا به شش مرحله جوانه‌زنی، رشد اولیه، ساقه‌دهی، گلدهی، غلاف‌بندی و رسیدگی کامل به صورت FI: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)؛ T1: کم‌آبیاری در دوره ساقه‌دهی (عدم آبیاری یا صفر درصد FI) و در دوره گلدهی (۳۵ درصد FI)؛ T2: کم‌آبیاری در دوره گلدهی (۳۵ درصد FI) و رسیدگی کامل (عدم آبیاری یا صفر درصد FI)؛ T3: کم‌آبیاری در دوره گلدهی (۳۵ درصد FI)، دوره غلاف‌بندی (۱۰ درصد FI) و رسیدگی کامل (عدم آبیاری یا صفر درصد FI)؛ T4: کم‌آبیاری فقط در دوره گلدهی (۳۵ درصد FI)؛ T5: کم‌آبیاری در دوره غلاف‌بندی (عدم آبیاری یا صفر درصد FI)، و رسیدگی کامل (عدم آبیاری یا صفر درصد FI)؛ T6: کم‌آبیاری در دوره گلدهی (۷۰ درصد FI)، غلاف‌بندی (عدم آبیاری یا صفر درصد FI) و رسیدگی کامل (عدم آبیاری یا صفر درصد FI)؛ T7: کم‌آبیاری در دوره غلاف‌بندی (۷۰ درصد FI) و رسیدگی کامل (۷۰ درصد FI)؛

www.SID.ir

Archive of SID

T8: کم‌آبیاری در دوره رشد اولیه (۵۰ درصد FI)، گلدهی (۷۰ درصد FI)، غلاف‌بندی (صفر درصد FI) و رسیدگی کامل (صفر درصد FI)؛ T9: کم‌آبیاری در دوره جوانه‌زنی (۷۰ درصد FI)، رشد اولیه (۶۰ درصد FI) و گلدهی (۶۰ درصد FI)؛ T10: کم‌آبیاری در دوره جوانه‌زنی (۷۰ درصد)، رشد اولیه (۶۰ درصد FI)، گلدهی (۶۰ درصد FI) و رسیدگی کامل (۷۵ درصد)؛ T11: کم‌آبیاری در دوره جوانه‌زنی (۷۰ درصد FI)، رشد اولیه (۶۰ درصد FI)، گلدهی (۶۰ درصد FI)، غلاف‌بندی (۱۰ درصد FI) و رسیدگی کامل (عدم آبیاری یا صفر درصد FI)؛ T12: کم‌آبیاری در دوره جوانه‌زنی (۷۰ درصد FI)، رشد اولیه (۶۰ درصد FI)، گلدهی (۶۰ درصد FI) و رسیدگی کامل (۸۰ درصد FI) بود. منطقه مورد آزمایش براساس طبقه‌بندی دومارتن جز مناطق نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود.

قبل از آزمایش، نمونه‌برداری از خاک مزرعه در دو عمق ۵۰-۰ و ۱۰۰-۵۰ سانتی‌متر انجام شد. نتایج آنالیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین نمونه‌برداری از آب آبیاری نیز انجام گردید که نتایج آن در جدول (۲) ذکر شده است. سپس با توصیه کودی آزمایشگاه خاکشناسی، کود نیترات به میزان ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار و کود فسفات به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل در نظر گرفته شد. سپس کاشت کلزا با تراکم چهار کیلوگرم بذر در هر هکتار در تاریخ ۲۵ شهریور انجام شد. عملیات کاشت، داشت و برداشت به صورت دستی برای کلیه تیمارها اعمال شد. محصول به دست آمده پس از برداشت خشک گردید. سپس مراحل کوبیدن و جدا کردن دانه از کاه انجام شد. در نهایت نیز وزن دانه و کاه برای هر تیمار محاسبه شد.

برای تعیین میزان آب آبیاری، از رابطه (۱) استفاده شد.

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}).MAD.\rho_b.D_r \qquad (۱)$$

در این رابطه: I_n: عمق خالص آب آبیاری (cm)، θ_{fc} و θ_{pwp}: به ترتیب درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم، MAD: حداکثر تخلیه مجاز رطوبت خاک (ضریب سهل الوصول) به صورت اعشار، ρ_b: جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3) و D_r: عمق توسعه ریشه گیاه (cm) می‌باشد. مقدار آب آبیاری، بدون در نظر گرفتن مقادیر خاکاب در شروع آزمایش، در شکل (۱) نشان داده شده است. رطوبت خاک در هر تیمار با استفاده از نوترون‌متر اندازه‌گیری می‌شد.

مدل‌های گیاهی

مدل CropSyst از یکی از دو رابطه (۲) یا (۳) برای شبیه‌سازی تولید زیست‌توده استفاده می‌کند. این دو رابطه براساس دو رویه اساسی است که در مدل CropSyst برای شبیه‌سازی عملکرد گیاهان مختلف در نظر گرفته شده است. در رابطه (۲) میزان عملکرد براساس تابش جذب شده توسط گیاه و در رابطه (۳) مقدار عملکرد براساس تعرق شبیه‌سازی می‌شود.

$$AGB_{IPAR} = RUE \times IPAR \times T_{\lim} \qquad (۲)$$

$$AGB_T = T_{act} \times \frac{BTR}{VPD} \qquad (۳)$$

در این رابطه، AGB_{IPAR} و AGB_T زیست‌توده گیاه، RUE فاکتور تبدیل نور به زیست‌توده، IPAR تابش جذب شده، $T_{\lim}$ فاکتور محدوده کننده‌ی دمایی، T_{act} تعرق واقعی و BTR ضریب تعرق-زیست‌توده است. بدین ترتیب در این مدل، میزان تولید ماده خشک براساس جذب نور یا آب شبیه‌سازی می‌گردد و این عمل به محدودیت یکی از این دو فاکتور بستگی دارد.

مدل WOFOST میزان رشد محصولات را با استفاده از رابطه (۴) به دست می‌آورد:

$$\Delta W = C_e \times (A - R_m) \qquad (۴)$$

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

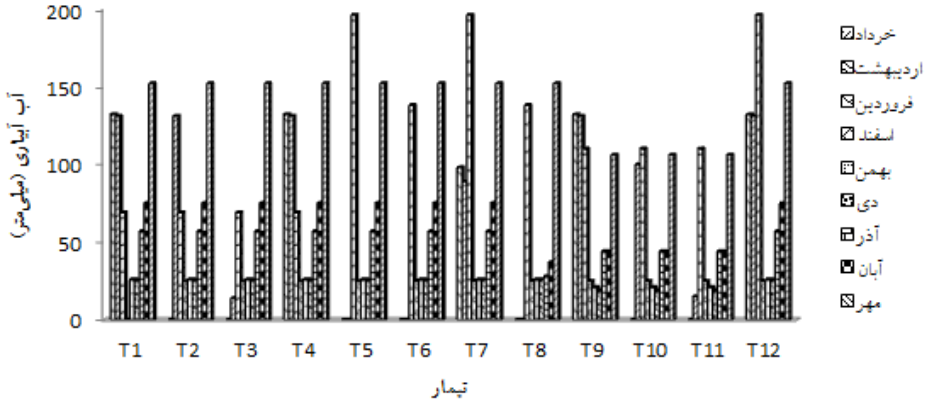
عمق	پتاسیم	فسفر	کلسیم	سدیم	منیزیم	نیترات	EC	pH	رطوبت در ظرفیت زراعی	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم	جرم مخصوص ظاهری	بافت خاک	فراوانی نسبی و اندازه ذرات خاک (درصد)		
cm	meq.l^{-1}						dS.m$^{-}_{1}$	-	cm^3.cm^{-3}		g.cm^{-3}		شن	سیلت	رس
۵۰-۰	۵/۷	۰/۲۵	۱/۸	۴	۰/۴۸	۰/۷	۰/۸۶	۸/۱	۰/۲۲	۰/۱۳	۱/۴۴	لوم‌رسی	۲۸	۳۹	۳۳
۱۰۰-۵۰	۶/۱	۰/۳۲	۲/۱	۵	۰/۵۲	۱/۲	۱/۱	۸	۰/۲۴	۰/۱۴	۱/۴۷	لوم‌رسی	۳۲	۲۹	۳۹

جدول ۲- نتایج تجزیه کیفیت آب آبیاری در مزارع آزمایشی

EC	pH	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات
dS.m^{-1}	-	meq.l^{-1}							
۲/۹	۷/۳	۲۰۰	۱۰۸	۲۸۰	۴/۶۸	۰	۲۴۴	۶۰۶/۳۵	۷۷۷/۶

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱-مقدار آب آبیاری در ماه‌های مختلف

در این رابطه، ΔW میزان رشد، A میزان ناخالص جذب، R_m میزان تعرق نگهداری و C_e راندمان تبدیل جذب به زیست‌توده است. این مدل از معادله ساده نشان داده شده در رابطه (۵) برای تعیین میزان جذب و رشد گیاه در شرایط کم‌آبیاری استفاده می‌کند:

$$A = \frac{T_a}{T_p} \times A_p \qquad (۵)$$

در این رابطه، A جذب واقعی، A_p جذب پتانسیل، T_a تعرق واقعی و T_p تعرق پتانسیل است. مدل AquaCrop نیز با استفاده از تبخیر-تعرق (رابطه ۶) و تفکیک آن به دو جزء تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr) به شبیه‌سازی عملکرد می‌پردازد. البته در این مدل مفهوم پوشش تاج گیاه براساس رابطه (۷) جایگزین شاخص سطح برگ شده است.

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \qquad (۶)$$

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \qquad (۷)$$

در این رابطه، 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، 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. بدین ترتیب میزان تعرق گیاه براساس پوشش تاج از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \qquad (۸)$$

در این رابطه، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی هستند.

تحلیل حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل

پیش از واسنجی مدل، تحلیل حساسیت براساس رابطه (۹) انجام شد (Geerts and Raes, 2009):

$$Sc = \left|\frac{P_m - P_b}{P_b}\right| \times 100 \qquad (۹)$$

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 براساس 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 می‌شد و بقیه عوامل ثابت نگه داشته می‌شدند. در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، Sc>۱۵ حساسیت بالا، ۱۵>Sc> ۲ حساسیت متوسط، Sc<۲ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). براساس نتایج تحلیل حساسیت، پارامترهای با حساسیت بیشتر از ۲ به منظور واسنجی انتخاب شدند. سپس با استفاده از داده‌های سال اول کشت مدل‌های مورد نظر واسنجی شدند. پس از واسنجی، صحت‌سنجی این مدل‌ها انجام شد. به منظور ارزیابی دقت مدل‌های گیاهی، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا، جذر میانگین مربعات نرمال شده، میانگین خطای اریب، کارایی مدل، شاخص توافق و ضریب تبیین استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۱۰) تا (۱۵) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۱۰)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \qquad (۱۱)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \qquad (۱۲)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \quad (۱۴)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum(P_i - \overline{P})^2 \sum(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۵)$$

در این رابطه‌ها، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_iمقدار 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 عالی 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 مورد نظر مقدار پارامتر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقادیر آماره‌هایEF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج حساسیت مدل‌های مورد بررسی به تغییرات برخی پارامترهای ورودی در جدول (۳) نشان داده شده است. براساس این نتایج، مدل AquaCrop نسبت به دمای حداقل، عمق موثر ریشه و حد آستانه بالای دما حساسیت کم داشت. گرچه براساس نتایج ارائه شده در جدول (۴)، حساسیت مدل AquaCrop نسبت به پارامتر ضریب گیاهی برای تعرق، بالا بود. لیکن این مدل نسبت به تغییرات سایر پارامترها نیز حساسیت متوسطی نشان داد. این نتایج با گزارش محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در خصوص حساسیت کم مدل AquaCrop به دمای حداقل و حساسیت متوسط این مدل به دمای حداکثر مطابقت داشت.

جدول ۳- ضریب حساسیت برخی پارامترهای مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop، WOFOST و CropSyst

پارامتر	مقدارSc در حالت ۲۵٪+	مقدارSc در حالت ۲۵٪-	درجه حساسیت
مدل AquaCrop			
رطوبت در ظرفیت زراعی	۱۲/۹	۷/۱	متوسط
رطوبت در نقطه پژمردگی	۱۲/۵	۱۴/۲	متوسط
دمای حداقل	۰/۱	۰/۹	کم
دمای حداکثر	۵/۵	۲/۶	متوسط
بارندگی	۳/۴	۹/۲	متوسط
ضریب گیاهی برای تعرق	۲۱/۳	۱۷/۶	بالا
عمق مؤثر ریشه	۱/۷	۰/۸	کم
حد آستانه بالای دما	۱/۴	۱/۹	کم
مدل WOFOST			
ضریب خاموشی نور جذب شده	۸/۵	۱۰/۴	متوسط
کارایی مصرف نور برای یک برگ	۸/۲	۶/۱	متوسط
کارایی تبدیل ماده جذب شده به برگ	۱۰/۴	۷/۵	متوسط
کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای	۰/۶	۲/۵	کم- متوسط
کارایی ماده جذب شده به ریشه	۷/۹	۵/۳	متوسط
کارایی ماده جذب شده به ساقه	۳/۴	۱۲/۲	متوسط
مدل CropSyst			
ضریب تبخیرتعرق گیاهی	۳/۹	۱/۲	متوسط-کم
ضریب خاموشی نور	۸/۱	۶/۵	متوسط
دمای پایه	۱۲/۳	۴/۷	متوسط
ضریب جذب نیتروژن	۲/۷	۲/۵	متوسط
حداکثر عمق ریشه	۹/۴	۱۳/۸	متوسط

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- برخی پارامترهای ورودی مدل‌های رشد گیاهی AquaCrop، WOFOST و CropSyst

توضیح عامل	مقدار	واحد	توضیح
مدل AquaCrop			
دمای پایه	صفر	درجه‌سانتی‌گراد	پیش‌فرض
دمای بالا	۳۰	درجه سانتی‌گراد	پیش‌فرض
بهره‌وری آب نرمال شده	۱۴/۳	گرم بر متر مربع	واسنجی
پوشش گیاهی اولیه	۹/۲	درصد	واسنجی
بیشینه رشد کانوپی	۸۱	درصد	واسنجی
حد بالای ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/۱۵	-	واسنجی
حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه	۰/۵۵	-	واسنجی
ضریب رشد پوشش	۹/۱	درصد روز	واسنجی
ضریب کاهش پوشش	۵	درصد روز	واسنجی
ضریب گیاهی برای تعرق	۱/۱	درصد بر روز	واسنجی
مدل WOFOST			
ضریب خاموشی نور جذب شده	۰/۵۵-۰/۰	-	واسنجی
کارایی مصرف نور برای یک برگ	۰/۴۸-۰/۰	کیلوگرم بر هکتار ساعت ژول مربع	واسنجی
کارایی تبدیل ماده جذب شده به برگ	۰/۶۲	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای	۰/۷۰	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ریشه	۰/۵۵	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
کارایی ماده جذب شده به ساقه	۰/۶۰	کیلوگرم بر کیلوگرم	واسنجی
سرعت جذب دی‌اکسید کربن در برگ	۰/۶۵-۰/۰	کیلوگرم بر هکتار ساعت	واسنجی
فاکتور تصحیح میزان تعرق	۱/۱	-	واسنجی
مدل CropSyst			
ضریب تبخیرتعرق گیاهی	۱/۱	-	واسنجی
ضریب خاموشی نور	۰/۵	-	واسنجی
دمای پایه	صفر	درجه سانتی‌گراد	واسنجی
ضریب جذب نیتروژن	۱/۳	-	واسنجی
حداکثر عمق ریشه	۱/۰	متر	واسنجی

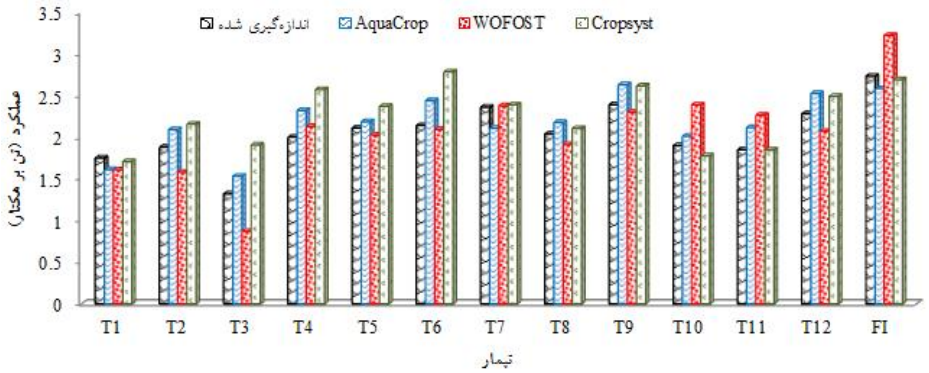
درخصوص حساسیت بالای مدل AquCrop نسبت به ضریب گیاهی برای تعرق اتفاق نظری در بین محققان دیگر مانند محمدی و همکاران (۱۳۹۴) و سالمی و همکاران (Salemi et al., 2011) مشاهده شد. مدل WOFOST نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی حساسیت متوسطی داشت. تنها با افزایش پارامتر کارایی ماده جذب شده به ارگان ذخیره‌ای حساسیت این مدل کم بود. مدل CropSysyt نیز نسبت به تغییرات کلیه پارامترهای ورودی تغییرات متوسطی داشت و تنها کاهش مقدار پارامتر ضریب گیاهی برای تعرق سبب حساسیت کم این مدل شد. نتایج واسنجی مدل‌های مورد نظر براساس نتایج سال اول کشت در جدول (۴) نشان داده شده است. گرچه کلیه پارامترهای ورودی در این جدول ذکر نشد. پس از واسنجی، شبیه‌سازی انجام شد که نتایج به دست آمده برای عملکرد دانه کلزا در شکل (۲) نشان داده شده است.

براساس داده‌های اندازه‌گیری شده، بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل (FI) و T3 به دست آمد. علت کاهش عملکرد در تیمار T3، اعمال کم‌آبیاری در دوره گلدهی کلزا بود (Tesfamriam et al., 2010). شبیه‌سازی عملکرد دانه کلزا با استفاده از مدل AquaCrop نشان داد که کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری به تیمارهای T1، T5 و T10 اختصاص داشت. میزان این اختلاف به ترتیب برابر با ۷/۸، ۳/۵ و ۵/۹ درصد بود. بیشترین اختلاف نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نیز در تیمارهای T4، T6 و T11 به ترتیب با ۱۶، ۱۳/۹ و ۱۴/۵ درصد به دست آمد. بنابراین می‌توان گفت که این مدل دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی عملکرد دانه کلزا داشت که با مشاهدات موسوی‌زاده و همکاران و زلک و همکاران مطابقت دارد (Mousavizadeh et al., 2016; Zeleke et al., 2011). کمترین اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل WOFOST در تیمارهای T7، T6 و T9 و به ترتیب برابر با ۰/۷، ۲/۱ و ۳/۸ درصد مشاهده شد. بیشترین اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با این مدل نیز در تیمارهای T11، T10 و T3 تعیین شد. اختلاف مشاهده شده در این

www.SID.ir

Archive of SID

تیمارها به ترتیب برابر با ۲۲/۵، ۲۵/۸ و ۳۴/۲ درصد بود. گرچه در برخی تیمارها، مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل WOFOST دقت بهتری نسبت به مدل AquaCrop داشت؛ لیکن در اکثر تیمارها دقت مدل AquaCrop بهتر بود. متوسط اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop برابر با ۱۰/۲ درصد بود. این مقدار برای مدل WOFOST برابر با ۱۲/۱ درصد بود. کمترین اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل CropSyst در تیمارهای T11، T7 و آبیاری کامل (FI) و به ترتیب برابر با ۰/۲، ۱/۲ و ۱/۵ درصد بود. بیشترین اختلاف نیز در تیمارهای T3، T6 و T4 و به ترتیب برابر با ۴۴/۵، ۳۰/۱ و ۲۸/۶ درصد به دست آمد. در این مدل نیز گرچه در برخی تیمارها دقت این مدل مناسب بود ولی به صورت متوسط (با اختلاف ۱۲/۶ درصد) در اکثر تیمارها دقت کمتری نسبت به مدل AquaCrop و WOFOST داشت.



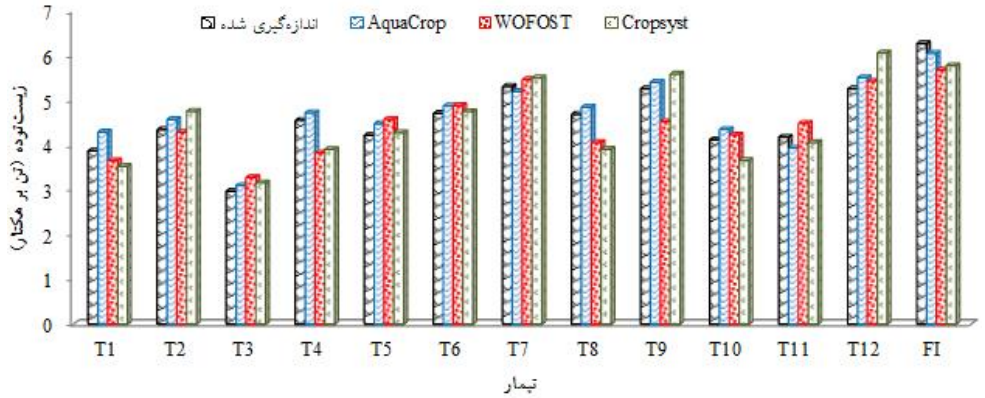
شکل ۲- مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه کلزا با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی AquaCrop، WOFOST و CropSysyt (FI نشان دهنده‌ی آبیاری کامل و تیمارهای T نشان دهنده‌ی اعمال کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف کشت است).

شبیه‌سازی زیست‌توده کلزا با استفاده از مدل‌های مورد نظر در شکل (۳) نشان داده شده است. متوسط اختلاف بین زیست‌توده اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst به ترتیب برابر با ۴/۸، ۷/۶ و ۸/۰ درصد بود. کمترین و بیشترین اختلاف زیست‌توده شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و اندازه‌گیری به ترتیب برابر با ۲ (T7) و ۱۰ (T1) درصد بود. این مقادیر برای مدل Wofost به ترتیب برابر با ۱/۳ (T2) و ۱۵/۹ (T4) و برای مدل CropSyst به ترتیب برابر با ۰/۹ (T6) و ۱۶/۵ (T8) به دست آمد. نتایج کارایی مصرف آب نیز در شکل (۳) نشان داده شده است. براساس نتایج اندازه‌گیری شده، مقادیر کارایی مصرف آب برای کلزا بین ۰/۲۶ (T1) و ۰/۴۸ (T11) کیلوگرم بر مترمکعب بود. نتایج شبیه‌سازی این پارامتر با استفاده از مدل AquaCrop بین ۰/۲۴ (T1) و ۰/۵۵ (T11) کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. این نتایج با استفاده از مدل Wofost بین ۰/۲۰ (T3) و ۰/۵۹ (T11) و با استفاده از مدل CropSyst بین ۰/۲۶ (T1) و ۰/۵۶ (T6) کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری کامل (FI) برای مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst به ترتیب برابر با ۰/۳۱، ۰/۲۹، ۰/۳۶ و ۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که به جز مدل WOFOST، دو مدل دیگر دقت نسبتاً قابل قبولی برای تعیین این پارامتر داشتند.

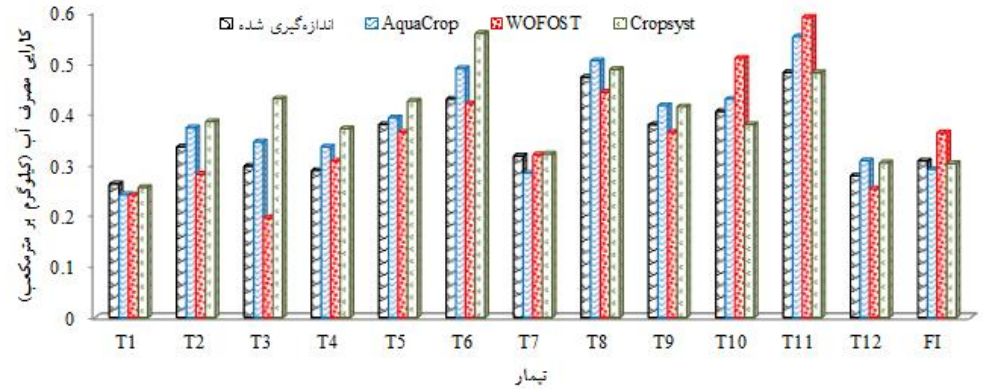
مقایسه آماری نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی برای پارامترهای عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب در جدول (۵) نشان داده شده است. براساس آماره MBE، دقت مدل WOFSOT برای تعیین عملکرد بهتر از دو مدل دیگر بود. با این وجود هر سه مدل دچار خطای بیش‌برآورد شده بودند. بسیاری از محققان نیز بیش برآوردی مدل‌های گیاهی مورد استفاده را گزارش کرده‌اند. از جمله این تحقیقات می‌توان به مشاهدات کاترجی و همکاران (Katerji et al., 2013) و حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. مقایسه نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده این سه مدل با استفاده از آماره RMSE نشان داد که مدل‌های AquCrop و CropSyst به ترتیب کمترین و بیشترین خطا را داشتند. براساس آماره NRMSE، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد عالی بود. براساس این آماره، دقت دو مدل دیگر برای شبیه‌سازی این پارامتر خوب بود. کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه کلزا براساس آماره EF نیز بهتر از دو مدل دیگر بود. براساس آماره R^2 نیز تطابق مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در مدل AquaCrop بهتر از دو مدل دیگر بود. محققانی مانند موسوی‌زاده و همکاران و زلک و همکاران نیز دقت مدل AquaCrop را در شبیه‌سازی عملکرد کلزا مطلوب گزارش کردند که نتایج تحقیق حاضر هم دقت این مدل را تأیید می‌کند (Mousavizadeh et al., 2016; Zeleke et al., 2011).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده زیست‌توده کلزا با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی AquaCrop، Wofost و CropSysyt (FI نشان دهنده‌ی آبیاری کامل و تیمارهای T نشان دهنده‌ی اعمال کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف کشت است).



شکل ٤- مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده کارایی مصرف آب کلزا با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی AquaCrop، Wofost و CropSysyt (FI نشان دهنده‌ی آبیاری کامل و تیمارهای T نشان دهنده‌ی اعمال کم‌آبیاری در دوره‌های مختف کشت است).

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست توده، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت کلزا

پارامتر	مدل گیاهی	RMSE (تن بر هکتار)	NRMSE	MBE (تن بر هکتار)	EF	d	R^2
عملکرد (تن بر هکتار)	AquaCrop	۰/۲۱۶	۰/۱۰	۰/۱۲۱	۰/۵۷	۰/۹۹	۰/۷۲
	Wofost	۰/۲۸۶	۰/۱۳	۰/۰۷	-۰/۰۸	۰/۹۹	۰/۷۵
	CropSyst	۰/۳۲۲	۰/۱۵	۰/۲۰۴	-۱/۶۸	۰/۹۹	۰/۵۴
زیست توده (تن بر هکتار)	AquaCrop	۰/۲۲۳	۰/۰۴	۰/۱۲۰	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۳
	Wofost	۰/۴۱۸	۰/۰۹	-۰/۱۰۵	۰/۵۷	۰/۹۹	۰/۷۳
	CropSyst	۰/۴۴۶	۰/۰۹	-۰/۰۶۰	۰/۳۴	۰/۹۹	۰/۷۶
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	AquaCrop	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۸۶
	Wofost	۰/۰۴	۰/۱۱	-۰/۰۱	۰/۸۰	۰/۹۹	۰/۷۶
	CropSyst	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۶۵

نتایج آماره MBE برای زیست‌توده نشان داد که مدل AquaCrop دچار خطای بیش‌برآورد و دو مدل دیگر دچار خطای کم‌برآورد شدند. بسیاری از محققان از جمله هنگ و همکاران، احمدی و همکاران و هسیائو و همکاران نیز بیش‌برآورد مدل AquaCrop را گزارش کرده‌اند (Ahmadi et al., 2015; Heng et al., 2009; Hsiao et al., 2009). براساس آماره RMSE، خطای مدل‌های AquaCrop، Wofost و CropSyst به ترتیب برابر با ۰/۲۲۳، ۰/۴۱۸ و ۰/۴۴۶ تن بر هکتار بود. بنابراین مدل AquaCrop دقت

www.SID.ir

Archive of SID

بهتری نسبت به دو مدل دیگر داشت؛ گرچه دو مدل دیگر نیز خطای قابل قبولی داشتند. براساس آماره NRMSE نیز دقت هر سه مدل عالی بود. آماره MBE برای کارایی مصرف آب نیز نشان داد که مدل Wofost دچار خطای کم‌برآورد و دو مدل دیگر دارای خطای بیش‌برآورد شدند. دقت هر سه مدل در تعیین کارایی مصرف آب براساس آماره‌های RMSE و NRMSE قابل قبول بود. هم‌چنین کارایی هر سه مدل با استفاده از آماره EF در تعیین این پارامتر مطلوب بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های دو ساله مزرعه تحقیقاتی در قزوین ارزیابی سه مدل گیاهی AquaCrop، Wofost و CropSyst انجام شد. متوسط اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی با مدل‌های AquaCrop، Wofost و CropSyst به ترتیب برابر با ۱۰/۲، ۱۲/۱ و ۱۲/۶ درصد بود. نتایج آماره RMSE برای عملکرد دانه کلزا نشان داد که مدل AquaCrop با مقدار ۰/۲۱۶ تن در هکتار کمترین خطا را داشت. همچنین براساس آماره EF، کارایی مدل AquaCrop با مقدار ۰/۵۷ بهتر از دو مدل دیگر بود. آماره‌های RMSE و EF پارامتر زیست‌توده برای مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۲۲۳ تن بر هکتار و ۰/۹۱ بود. این نتایج دقت بالای این مدل را نسبت به مدل‌های Wofost و CropSyst نشان داد. نتایج آماره‌های بررسی شده نشان داد که هر سه مدل دقت نسبتاً یکسانی برای تعیین کارایی مصرف آب داشتند. براساس این نتایج، می‌توان دقت مدل AquaCrop را نسبت به دو مدل دیگر بهتر ارزیابی کرد.

تشکر و قدردانی

داده های مورد نیاز جهت انجام این پژوهش برگرفته از طرح های تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب با عناوین "تعیین عمق و دور آبیاری زراعت کلزا در قزوین"، به شماره ۰۰۳-۸۰-۱۵-۱۰۰ و "تعیین مناسب ترین زمان قطع آبیاری کلزا در قزوین"، به شماره ۰۴۵-۸۰-۱۵-۱۰۰ می باشد. بدین وسیله از مسئولین محترم موسسه تحقیقات خاک و آب برای ایجاد تسهیلات لازم جهت انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

حسن‌لی، م.، افراسیاب، پ.، ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶(۳): ۴۹۸-۴۸۷.

حیدری‌نیا م.، ناصری ع.، برومندنسب، س. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مهندسی منابع آب. ۵(۱): ۴۱-۳۹.

رحیمی‌خوب، ح.، ستوده‌نیا، ع.، مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۳. واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین. آبیاری و زهکشی. ۸(۱): ۱۱۵-۱۰۸.

علیزاده، ح. ع.، نظری، ب.، پارسی‌نژاد، م.، رمضانی اعتدالی، ه. جانباز، ح. ر. ۱۳۸۹، ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در کرج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲۴(۲): ۲۸۳-۲۷۳.

مجرد ف.، فرهادی ب.، خیری، ر. ۱۳۹۳. نقش عوامل آب و هوایی در تعیین تاریخ آغاز کشت و طول دوره رشد کلزا با کاربرد مدل CropSysyt (مورد مطالعه: استان‌های ساحل دریای خزر). پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. ۴۶(۴): ۴۷۶-۴۶۳.

محمدی، م.، داوری، ک.، قهرمان، ب.، انصاری، ح.، حق‌وردی، ا. ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.

نخجوانی مقدم، م. م.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، دهقانی سانیج، ح.، توکلی، ع. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط دیم کامل و آبیاری تکمیلی و ارائه سناریوهای برتر مدیریتی در بالادست حوضه آبریز کرخه. آبیاری و زهکشی. ۱۰(۴): ۴۷۸-۴۶۶.

هنر ت.، ثابت سروستانی ع.، کامگار حقیقی ع. ا.، شمس، ش. ۱۳۹۰. واسنجی مدل گیاهی CropSysyt جهت عملکرد و شبیه‌سازی رشد گیاه کلزا. آب و خاک. ۲۵(۳): ۶۰۵-۵۹۳.

Ahmadi S. H., Mosallaeepour E., Kamgar-Haghighi A.K., Sepaskhah, A. R. 2015. Modeling maize yield and soil water content with AquaCrop under full and deficit irrigation managements. Water Resource Management. 29: 2837-2853.

Araya A., Solomon H., Kiros M.H., Afewerk K., Taddese, D. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (Hordeum vulgare). Agricultural Water Manage. 97: 1838-1846.

Arvaneh H., Abbasi F., Eslami, H. 2011. Validation and testing of AquaCrop under farmers management, 1st National Conference on Agrometeorology and Agricultural Water Management.

Bellocchi G., Silvestri N., Mazzoncini M., Menini, S. 2002. Using the CropSyst Model in Continuous Rainfed maize (Zea mais L) under Alternative Manangment Option. Italian Journal of Agronomy. 6:43-56.

Boogaard H.L., Van Diepen C.A., Rotter R.P., Cabrera

www.SID.ir

Archive of SID

163.

Moriondo M., Maselli F., Bindi, M. 2007. A Simple Model of Regional Wheat Yield Based on NDVI data. Europian Journal of Agronomy. 26: 266-274.

Mousavizadeh, S. F., Honar, T., Ahmadi, S. H. 2016. Assessment of the AquaCrop model for simulating canola under different irrigation management in a semiarid area. International Journal of Plant Production. 10(4): 1735-6814.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. 2009. AquaCrop— the FAO crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and software description. Agronomy Journal. 101:438–447.

Reddy, T. Y., Reddi, G. H. S. 2003. Principles of Agronomy. Kalyani Publishers, Ludhiana. pp.48–77.

Salemi, H., Mohd Soom, M.A., Lee, T.S., Mousavi, S.F., Ganji, A., 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.

Song, Y. I., Chen, D. L. Dong, W. J. 2006. Influence of climate on winter wheat productivity in different climate regions of China, 1961–2000. Climatology Research. 32: 219–227.

Stockle, C. O. Nelson, R. L. 1996. Cropsyst User's manual (Version 2.0). Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.

Stricevic, R., Cosic, M., Djurovic, N., Pejic, B., Maksimovic, L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize sugar beet and sunflower. Agricultural Water Management. 98: 1615-1621.

Tesfamriam, E.H., J.G. Annandale, Steyn, J. M. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. Agronomy Journal. 102:658–666.

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M. T., Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, Cropsyst, and Wofost Models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal. 101(3): 509-521.

Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P. van Diepen, C. A. 1997. Theory of SWAP Version 2.0, Report #71. Department of Water Resources, Wageningen Agricultural University, 167 pp.

Yang, H. S., Dobermann, A., Lindquist, J. L., Wolters, D. T., Arkebauer, T. J. Cassman, K. G. 2004. Hybrid-maize—A maize simulation model that combines two crop modeling approaches. Field Crops Research. 87: 131–154.

J.M.C.A., Van Laar, H. H. 1998. Wofost 7.1; user's guide for the Wofost 7.1 crop growth simulation model and Wofost Control Center 1.5 (No. 52). SC-DLO.

Bouman, B. A. M., Van Keulen, H., Van Laar, H. H. Rabbinge, R. 1996. The "School of de Wit", crop growth simulation models: pedigree and historical overview. Agricultural System. 52: 171-198.

Confalonieri R., Bocchi, S. 2005. Evaluation of CropSyst for Simulation the Yield of Flooded Rice in Northern Italy. Europian Journal of Agronomy. 23:315-326.

Confalonieri, R., Acutis, M., Bellocchic, G. Donatelli, M. 2009. Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and Wofost for rice. Ecological Modeling. 220: 1395-1410.

Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z. Dubrovsk, M. 2004. Comparison of CERES, Wofost and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modeling. 171: 223-246.

Geerts, S., Raes, D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96: 1275-1284.

Gilardelli, C., Stella, T., Frasso, N., Cappelli, G., Bregaglio, S., Chiodini, M. E., Scaglia, B., Confalonieri, R. 2016. Wofost -GTC: a new model for the simulation of winter rapeseed production and oil quality. Field Crops Research. 197: 125-132.

Heng, L.k., Hsiao, T.C., Evett, S., Howell, T., 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., Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal.101(3): 448-459.

Katerji, N., Campi, P., 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.

Marletto, V., Ventura, F., Fontana, G. Tomei, F. 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. Agricultural Meteorology. 147: 71–79.

Masanganise J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., 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-

www.SID.ir

Archive of SID

Determination of EMC isotherms and appropriate Mathematical models for canola. Food and Bioproducts Processing. 89(4): 407-413.

Zeleke, K., Luckett, D., Cowley, R. 2011. Calibration and Testing of the FAO AquaCrop Model for Canola. Agronomy Journal. 103: 1610-1618.

Zomorodian A., Kavoosi Z., Momenzadeh, L. 2010.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 13, Agu.-Sept. 2019, p. 715-726

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۳، مرداد - شهریور ۱۳۹۸، ص. ۷۲۶-۷۱۵

Evaluation of AquaCrop, Wofost, and CropSyst to Simulate Rapeseed Yield

N.A. EbrahimiPak[1*], A. Egdernezhad[2], A.Tafteh[3] and M. Ahmadee[4]
Recived: Sep.09, 2018 Accepted: Nov.11, 2018

Abstract

In order to evaluate the performance of three cropping models: AquaCrop, Wofost, and CropSyst, for simulating rapeseed yield, experimental data collected from Qazvin research station during two years (2010-2012) were used. Treatments were consisted of 12 deficit irrigation scenarios (T1 to T12) and full irrigation (FI) during crop season. Results showed that all three copping models were moderately sensitive with the respect to change the input parameters. AquaCrop was only highly sensitive to alteration of the transpiration coefficient values. The average differences between measured and simulated grain yield using AquaqCrop, Wofost, and Cropsyst were 10.2%, 12.1%, and 12.6%, respectively. The RMSE values for grain yield simulation using AquaCrop, Wofost, and CropSyst were 0.216, 0.286, and 0.332 ton.ha^{-1}, respectively. RMSE values for biomass using abovementioned models were 0.223, 0.418, and 0.446 ton.ha^{-1}, respectively. NRMSE values for abovementioned models were 0.04, 0.09, and 0.09, respectively. Values for EF were also revealed that AquaCrop had a better efficiency compared to other models. Regarding the results, it seems that AquaCrop is an appropriate cropping model to simulate rapeseed yield and biomass.

Key words: Biomass, Cropping Model, Deficit Irrigation Scenarios, Water Use Efficiency

1- Associate Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
3- Assistant Professor, Department of Irrigation and soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Ph.D. of Irrigation and Drainage
(*- Corresponding Author Email: nebrahimipak@yahoo.com)

www.SID.ir