نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۳۹-۳۲۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 329-339

ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا

حسین بابازاده[1*]- مهدی سرائی تبریزی[2]

تاریخ دریافت:۹۰/۱/۲۷
تاریخ پذیرش:۹۰/۹/۱۳

چکیده

مدل AquaCrop یک ابزار قدرتمند و با ارزش برای بهبود مدیریت آب در مزرعه و محاسبه بهره‌وری آب می‌باشد. سادگی، نیاز به حداقل داده ورودی و دقت قابل قبول مدل از مزایای استفاده از آن می‌باشد. در این تحقیق به منظور ارزیابی و آنالیز حساسیت مدل AquaCrop از داده‌های مزرعه‌ای تحت کشت گیاه سویا در منطقه کرج استفاده شد. این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار تیمار آبیاری شیاری شامل آبیاری کامل (در حد ۱۰۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک)، کم آبیاری سنتی در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و آبیاری بخشی منطقه ریشه در حد۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک در سال ۱۳۸۷ انجام شد. نتایج نشان داد که مدلAquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر و تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی دارد. نتایج این تحقیق بر اساس مقادیر ضریب آنالیز حساسیت (S_c) نشان می‌دهد ورودی‌های مدل به زمان سبز شدن بذرها، رطوبت اولیه خاک و عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل هیچ حساسیتی ندارند.

واژه‌های کلیدی: مدل AquaCrop، تبخیر و تعرق گیاهی، عملکرد محصول، سویا

مقدمه

یکی از عمده‌ترین فرآورده‌های غذایی که تأمین نیاز داخلی آن از اهمیت زیادی برخوردار است، روغن‌های خوراکی می‌باشد. دانه سویا حاوی حدود ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین است و به عنوان مهمترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی محسوب می‌شود (۱، ۲، ۵ و ۲۱). گیاه سویا (*Glycine max* L.) گیاهی یک ساله، دو لپه‌ای و از خانواده پروانه آسانان، یکی از قدیمی‌ترین و مهمترین گیاهان زراعی محسوب می‌شود (۲).

آب یکی از مهمترین احتیاجات رشد گیاه است. برآورد شده است که حدود ۲۶ درصد سطح کره زمین متأثر از تنش خشکی است. از آنجایی که کشور ما دارای آب و هوای نیمه خشک است، وقوع تنش خشکی امری اجتناب‌ناپذیر است (۲ و ۹). از طرفی افزایش جمعیت و تلاش در راستای حذف و یا ترمیم کشاورزی کم بازده و ارتقای کشاورزی نوین توجه بیشتر به مدیریت آب آبیاری و شناخت دقیق رابطه بین آب مصرفی و عملکرد محصول را می‌طلبد (۳). مدل‌های مدیریتی آبیاری برای مطالعه سناریوهای مختلف آبیاری با استفاده از شاخص‌های مدیریت آبیاری می‌توانند این وظیفه را به خوبی انجام دهند و یک مزیت مهم آنها این است که اجازهٔ توسعه یافته‌ها و نتایج را برای شرایط آزمایش نشده در مزرعه فراهم می‌آورند. در نتیجه توصیه‌های عملی را برای کشاورزان و کسانی که به صورت گسترده روی برنامه‌ریزی کم آبیاری تحت شرایط مختلف تأمین آب و شرایط مختلف مدیریت محصول کار می‌کنند فراهم می‌نمایند (۱۳). در سال‌های گذشته مدل‌های زیادی برای مطالعه مدیریت آبیاری در سطح مزرعه معرفی و به کاربرده شده‌اند که می‌توان به مدل CROPWAT (۱۳) و مدل Budget (۱۸) اشاره نمود که نظریهٔ پایه‌ای این مدل‌ها (نشریه ۳۳ فائو و معادله بیلان جرمی آب)، پیکر بندی و الگوریتم آنها بسیار مشابه با مدل AquaCrop می‌باشد. تنها فرق بین آنها این است که مدل AquaCrop از اصلاح و بازنگری نشریه ۳۳ فائو توسط متخصصان برجسته از سرتاسر جهان به دست آمده است و الگوریتم اصلی به کار رفته در مدل توسط رئیس و همکاران (۱۹) ارائه شده است. همچنین مدل SWAP که بر اساس معادلات جریان آب و املاح در خاک (معادله ریچاردز) عمل می‌کند یکی دیگر از مدل‌های بسیار کاربردی می‌باشد که برای مطالعه توازن آب و املاح در شرایط وجود پوشش گیاهی و همچنین برای مدیریت آبیاری استفاده می‌شود (۱۶). مدل‌های زراعی پویایی مانند مدل SOYMOD (۱۷)، مدل CERES (۱۲)، مدلSOYGRO (۸) و

۱و۲- استادیار و دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

مدل APSIM (۱۶) و برخی دیگر از مدل‌ها مانند CropSyst (۲۴) هم وجود دارند که به صورت تک گیاهی عمل می‌کنند و در سطح جهان تحقیقاتی روی این مدل‌ها انجام شده است. با توجه به تکنولوژی‌های روز دنیا دارای قابلیت‌های خاصی مانند: شبیه‌سازی سیستم‌های کشت و همکار شبیه‌ساز CropSyst-GIS می‌باشند. در این مدل‌ها یکی از معیارهای اصلی مطالعه میزان سطح تاج پوشش گیاهی می‌باشد. بیشتر این مدل‌ها به دلیل نیاز به واسنجی و اعتباریابی بسیار پیچیده، داده‌های ورودی زیاد و همچنین دامنه وسیع تغییر پارامترهای ورودی نیازمند یک کاربر ماهر می‌باشند (۲۴).

یکی از پارامترهای اصلی در رشد و نمو محصولات کشاورزی تبخیر و تعرق است. تبخیر و تعرق به دو مؤلفه تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه تفکیک می‌شود. آنچه که به عنوان بخش مولد محسوب می‌شود تعرق گیاه و بخش پوشش سبز محصول است که بررسی و نحوه بهبود بهره‌وری تعرق از طریق ارائه گزاره‌های مدیریتی از قابلیت مدل AquaCrop محسوب می‌شود. مدل AquaCrop بر اساس یک گام زمانی بلند مدت بر اساس نشریه بازنگری شده ۳۳ فائو عمل می‌کند. این مدل از طریق تفکیک سهم مولد تولید یعنی تعرق از تبخیر و تعرق و میزان بیوماس تولیدی و به واسطه شاخص برداشت، مقادیر شاخص بهره‌وری آب (تعرق) و عملکرد محصول را در گام‌های زمانی روزانه برآورد می‌کند. از دیگر ویژگی‌های مدل AquaCrop این است که به جای شاخص سطح برگ از پوشش سبز سطح زمین استفاده می‌کند، که در آن شاخص درجه روز رشد اهمیت ویژه‌ای دارد و به جای ضریب کاهش نسبی عملکرد محصول به بررسی شاخص بهره‌وری می‌پردازد. این مدل در دامنه وسیعی از محصولات زراعی شامل: علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه‌ها، روغنی و غده‌ای قابل استفاده است. در این مدل برای محاسبه تعرق و برای جداسازی تبخیر از سطح خاک نسبت به تعرق از سطح گیاه، به جای استفاده از شاخص سطح برگ[1] از پوشش تاجی که سطح زمین را می‌پوشاند استفاده می‌شود (۲۳).

در مدت بسیار کوتاه تحقیقات وسیعی روی عملکرد مدل AquaCrop انجام گرفته است. گارسیا - ویلا و همکاران (۹) در مطالعه بهینه‌سازی کم آبیاری برای گیاه پنبه نتیجه گرفتند که با استفاده از مدل AquaCrop می‌توان عملکرد محصول، بهره‌وری آب، بیوماس و رشد پوشش تاجی گیاه را به خوبی شبیه‌سازی کرد. همچنین نتایج نشان داد که مدل AquaCrop می‌تواند ابزاری مفید برای مدیران در تصمیمات مدیریتی که در سطح مزرعه اتخاذ می‌کنند باشد. هنگ و همکاران (۱۱) مدل AquaCrop را برای ذرت در سه منطقه با شرایط کاملاً متفاوت (Zaragoza اسپانیا (شرایط نیمه‌خشک)، Bushland تکزاس آمریکا (باد شدید و تبخیر و تعرق بالا) و Gainesville فلوریدای آمریکا (آب و هوای بارانی و خاک شنی) واسنجی و اعتباریابی نمودند. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop قادر است به صورت قابل قبول آب مصرفی گیاه را تحت شرایط تبخیر و تعرق و باد زیاد شبیه‌سازی نماید بعلاوه مدل AquaCrop رشد بیوماس، عملکرد دانه و پوشش گیاهی[2] از سطح بالا تحت شرایط بدون تنش آبی و یا تیمارهای با تنش‌های آبی متوسط به صورت رضایت‌بخش شبیه‌سازی می‌کند اما مدل AquaCrop برای تیمارهای با تنش آبی شدید مخصوصاً وقتی تنش آبی طی مراحل حساس رشد گیاه اتفاق بیفتد نمی‌تواند این پارامترها را به صورت رضایت‌بخش شبیه‌سازی نماید. همچنین اظهار کردند که سهولت استفاده از مدل AquaCrop، نیاز به پارامترهای ورودی کم و درجه کافی دقت شبیه‌سازی سبب می‌شود این مدل یک ابزار ارزشمند برای برآورد بهره‌وری آب تحت سناریوهای مختلف آبیاری و تحت استراتژی‌های مختلف مدیریت آب در سطح مزرعه برای بهبود شاخص کارایی مصرف آب باشد. تودورووویس و همکاران (۲۴) دو مدل پایه‌ای قابل قبول CropSyst و WOFOST را با مدل AquaCrop در منطقه حاره‌ای مدیترانه در جنوب ایتالیا در کشت آفتابگردان تحت سه رژیم مختلف آبیاری شامل: تیمار آبیاری کامل، تیمار کم آبیاری تنظیم شده[3] و تیمار بدون آبیاری[4] مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop کمتر از مدل CropSystو مدل WOFOST نیاز به داده ورودی دارد و مدل AquaCropهم بیوماس و هم عملکرد را در مرحله برداشت محصول مشابه با دو مدل دیگر شبیه‌سازی می‌کند و همچنین مدل AquaCrop صرفاً بر اساس آب مصرفی در دوره رشد که در تعرق از طریق پارامتر بهره‌وری آب تبدیل به بیوماس می‌شود عمل می‌کند اما مدل CropSyst بر اساس هم معیار آب و هم معیار تشعشع عمل نموده در حالیکه مدلWOFOST با استفاده از روش استفاده از کربن[5] و جزء تشعشع جذب شده[6] شبیه‌سازی رشد محصول را انجام می‌دهد. گیرتس و همکاران (۱۰) در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی منطقه Altiplano بولیوی مدل AquaCrop را برای گیاه بومی quinoa تحت سناریوهای مختلف آبیاری واسنجی و اعتباریابی کردند. نتایج نشان داد که مدلAquaCrop ابزار ارزشمندی برای بررسی و امتحان اثر تجمعی مکانیسم‌های تحمل به تنش آبی روی گیاه بومی quinoa می‌باشد و همچنین عملکرد محصول تحت سناریوهای مختلف آبیاری شبیه‌سازی شده و منحنی‌های احتمالاتی

1- Leaf Area Index (LAI)

2- Canopy Cover (CC)
3- Regulated Deficit Irrigation (RDI)
4- Rainfed
5- Carbon driven approach
6- Fraction of Intercepted Radiation

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد[1] در سطوح عملکرد قابل اعتماد ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که این منحنی‌های احتمالاتی در نظر گرفته شده دقیق‌تر و ارجح تر نسبت به مطالعات اقتصادی تصادفی[2] هستند. علیزاده و همکاران (۴) کارایی مدل AquaCrop را در منطقه کرج در کشت گندم برای تیمارهای مختلف آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار تک آبیاری در ۲ دور ۷ و ۱۴ روزه ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه، تبخیر و تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب در دور آبیاری ۷ روزه قابلیت خوبی داشته است لیکن دقت پیش‌بینی این عوامل در دور ۱۴ روز کمتر بود.

نوآوری این تحقیق ارزیابی و آنالیز حساسیت آخرین نسخه مدل AquaCrop، نسخه 3.1+ که در اواخر بهمن ۱۳۸۹ ارائه شده است در کشت سویا تحت سناریوهای مختلف آبیاری به ویژه تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه[3] می‌باشد (۲۰). هدف از انجام این تحقیق ارزیابی عملکرد این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب سویا در منطقه کرج با شاخص‌های آماری مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کلیات طرح آزمایشی

در این تحقیق برای ارزیابی و آنالیز حساسیت مدل AquaCrop از نتایج مطالعهٔ صحرایی که روی گیاه سویا در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ انجام شده بود استفاده شد. این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. برای این تحقیق از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه سینوپتیک واقع در مزرعه پژوهشی دانشگاه تهران (۱۳۸۸-۱۳۷۹) استفاده شد. بافت خاک مزرعه لوم و با متوسط ظرفیت زراعی (θ_{fc}) ۳۲/۲ درصد حجمی و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای عمق تا ۶۰ سانتی‌متری خاک بود. متوسط شوری عصاره اشباع خاک با توجه به آنالیز شیمیایی خاک مزرعه ۴/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد. ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع عمودی خاک (K_{sat}) ۱۰۴ میلی‌متر بر ساعت بود. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار تیمار آبیاری روی سویا رقم ویلیامز انجام شده بود. مساحت هر کرت ۵/۲ متر مربع (۲/۶×۲) و چهار خط کاشت به طول ۲ متر در هر کرت با دور آبیاری ۷ روز در نظر گرفته شده بود. ضمناً به عنوان یک شاخص کنترلی اندازه‌گیری منظم درصد رطوبت حجمی خاک در طول فصل کشت به فواصل دو روزه با استفاده از اوگر با تعیین اختلاف بین نقصان رطوبتی خاک و ضریب تخلیه مجاز (MAD) برای پیش‌بینی زمان آبیاری در نظر گرفته شد. برای حذف اثرات ناشی از نفوذ آب از تیمارهای مختلف روی یکدیگر و از بین بردن اثرات حاشیه‌ای، فواصل طولی بین کرت‌ها ۰/۹ متر، فواصل عرضی بین کرت‌ها ۰/۷۵ متر و اندازه‌گیری‌ها فقط از دو خط کاشت وسط هر کرت انجام شد. خطوط کاشت دقیقاً در وسط پشته‌ها قرار گرفت. به علت کوتاهی جویچه‌های داخل کرت انتهای شیارها بسته در نظر گرفته شد. تیمارهای آبیاری سطحی شیاری اعمال شده عبارت بودند از: تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($PRD_{50\%}$)، تیمار آبیاری کامل (در حد ۱۰۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک) (FI)، تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($DI_{50\%}$) و تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۷۵ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک ($DI_{75\%}$). کشت محصول در تاریخ ۱۲ خرداد بعد از یک شخم سطحی انجام شد. برداشت محصول در ۸ مهر صورت گرفت. محاسبات روش مستقیم تعیین نیاز آبی بر اساس نمایه خاک (SMD) با استفاده از یک اوگر در طول فصل کشت از سه عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ خاک انجام شد. برای تأمین میزان دقیق آب ورودی به هر شیار کرت در تیمارهای مختلف آبیاری از یک مخزن ۲۲۰ لیتری که توسط یک مانومتر مدرج شده بود استفاده گردید (۱ و ۲۱). محاسبات تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو - پنمن - مانتیث (FAO-PM) به صورت روزانه با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانهٔ ایستگاه سینوپتیک کرج واقع در مزرعه دانشکده کشاورزی انجام شد. کود مصرفی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره قبل از مرحله گل‌دهی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات قبل از کشت به زمین مورد آزمایش داده شد. در طول فصل کشت بارشی صورت نگرفت. در این تحقیق اعمال تیمار پس از ۵ برگی شدن گیاه در نوبت آبیاری ششم در تاریخ ۱۷ تیر اعمال شد. برنامه‌ریزی آبیاری در این مطالعه از نظر زمانی و کمی در جدول ۱ آورده شده است (۱، ۵ و ۲۱).

کلیات تئوری مدل AquaCrop و روش آنالیز حساسیت مدل

مدل AquaCrop همانند مدل‌های CROPWAT و Budget از معادله دورنبوس وکاسام که در نشریه۳۳ فائو برای محاسبه ضریب حساسیت کم آبی بر اساس تعیین نسبت تبخیر و تعرق نسبی و عملکرد نسبی بیان شده است استفاده می‌کند و هر سه مدل بر اساس معادله بیلان آب عمل می‌کنند (۱۹ و ۲۳).

1- Yield Probability Curves
2- Stochastic Economic Studies
3- Partial Root Drying (PRD)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- برنامه‌ریزی آبیاری برای محصول سویا در دور آبیاری ۷ روز برای ٤ تیمار مختلف آبیاری

زمان آبیاری	تیمار FI (mm)	تیمار $DI_{75\%}$ (mm)	تیمار $DI_{50\%}$ (mm)	تیمار $PRD_{50\%}$ (mm)
۱۳ خرداد	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
۲۰ خرداد	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
۲۷ خرداد	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۱/۵
۳ تیر	۳۰/۳	۳۰/۳	۳۰/۳	۳۰/۳
۱۰ تیر	۳۴	۳۴	۳۴	۳۴
۱۷ تیر	۳۷/۵	۲۸/۱	۱۸/۸	۹/۴
۲۴ تیر	۴۲	۳۱/۵	۲۱	۱۰/۵
۳۱ تیر	۵۵	۴۱/۳	۲۷/۵	۱۳/۸
۷ مرداد	۵۱	۳۸/۳	۲۵/۵	۱۲/۸
۱۴ مرداد	۵۰	۳۷/۵	۲۵	۱۲/۵
۲۱ مرداد	۶۲	۴۶/۵	۳۱	۱۵/۵
۲۸ مرداد	۷۱	۵۳/۳	۳۵/۵	۱۷/۸
۴ شهریور	۵۳	۳۹/۸	۲۶/۵	۱۳/۳
۱۱ شهریور	۴۶	۳۴/۵	۲۳	۱۱/۵
۱۸ شهریور	۳۳	۲۴/۸	۱۶/۵	۸/۳
۲۵ شهریور	۱۶	۱۲	۸	۴
۱ مهر	۱۴	۱۰/۵	۷	۳/۵
مجموع مقادیر	۶۵۶/۳	۵۲۳/۹	۳۹۱/۱	۲۵۸/۷

توضیحات تیمارها: تیمار آبیاری کامل (Full Irrigation, FI)، تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۷۵ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک (Deficit Irrigation,$DI_{75\%}$)، تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک (Deficit Irrigation, $DI_{50\%}$) و تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه درحد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک (Partial Root Drying, $PRD_{50\%}$).

جدول۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی قبل از کشت

عمق خاک	بافت خاک				جرم مخصوص ظاهری	EC	pH	رطوبت (درصد حجمی)			
(cm)	رس (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	نوع بافت	(g/cm^3)	(ds/m)		اولیه	FC	PWP	اشباع
۰-۲۰	۲۳/۷	۴۶/۲	۳۰/۱	لوم	۱/۵۱	۳/۹	۷/۴۶	۱۵/۷	۳۲/۲	۱۵	۴۸/۹
۲۰-۴۰	۳۵/۷	۳۴/۴	۳۰	لومی رسی	۱/۵۹	۴/۸	۷/۶۱	۱۵	۳۲/۲	۱۵	۴۷
۴۰-۶۰	۲۲/۱	۴۲/۸	۳۵/۱	لوم	۱/۵۱	۵/۳	۷/۸۹	۱۴/۲	۳۲	۱۶	۴۶/۵

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

که در آن Y_x عملکرد بیشینه، Y_a عملکرد واقعی، ET_x تبخیر- تعرق بیشینه، ET_a تبخیر- تعرق واقعی و ضریب حساسیت به کم آبی (ضریب واکنش عملکرد به آب) می‌باشد.

مدل AquaCrop با تفکیک تبخیر- تعرق (ET[1]) به تعرق از سطح گیاه (T_r[2]) و تبخیر از سطح خاک (E[3]) و همچنین توسعه یک مدل ساده رشد و پیری کانوپی[4] گیاه به عنوان پایه برآورد تعرق از سطح گیاه و تفکیک آن از تبخیر، شبیه‌سازی عملکرد نهایی محصول

1- Evapotranspiration (ET)
2- Transpiration (Tr)
3- Evaporation (E)
4- Canopy

Archive of SID

www.SID.ir

به عنوان تابعی از عملکرد بیولوژیک محصول (B) و شاخص برداشت (HI) و همچنین تفکیک اثرات تنش آبی در چهار بخش: رشد پوشش تاجی، پیری پوشش تاجی گیاه، تعرق از سطح گیاه و شاخص برداشت محصول (HI) توسعه یافته است. با تفکیک تبخیر و تعرق به تعرق از سطح گیاه و تبخیر از سطح خاک می‌توان از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق تبخیر از سطح خاک به ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل جلوگیری کرد. تعرق روزانه با استفاده از تبخیر و تعرق روزانه و بهره‌وری آب[1] گونه گیاهی که با استفاده از نیاز تبخیری و غلظت CO_2 اتمسفری نرمال شده به عملکرد بیولوژیک گیاه تبدیل می‌شود و بر اساس معادله زیر قابل محاسبه است (۲۲ و ۲۳):

$$B_i = WP^* \times \left(\frac{T_{r_i}}{ET_{o,i}} \right) \qquad (۲)$$

که در رابطه ۲ WP^* بهره‌وری آب که با نرمال کردن مناسب برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به یک پارامتر ثابت تبدیل می‌شود، B_i (زیست توده نهایی) عملکرد بیولوژیک، T_{r_i} تعرق روزانه و $ET_{o,i}$ تبخیر و تعرق روزانه می‌باشد. بنابراین گام گذاشتن از معادله ۱ به معادله ۲ دلالت بر صحت و عمومیت مدل دارد. برتری دیگر معادله ۲ به معادله ۱ این است که شبیه‌سازی فرآیندهای رشد گیاه در آن با استفاده از گام‌های زمانی روزانه صورت می‌گیرد، در حالی که در معادله ۱ شبیه‌سازی به صورت ماهانه یا فصلی انجام می‌شود. در تمام دوره رشد گیاه، مقدار آب ذخیره شده در ناحیه ریشه از طریق بیلان آبی جریان آب ورودی (آبیاری و بارندگی) و خروجی (رواناب، نفوذ عمقی و تبخیر و تعرق) در ناحیه ریشه شبیه‌سازی می‌شود. شدت ضرایب تنش آبی (K_s) مؤثر بر توسعه پوشش تاجی (CC)، پیری و کاهش پوشش تاجی و شاخص برداشت (HI) به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. به علاوه برخی جنبه‌های مدیریتی آبیاری و زراعی از طریق تأثیراتی که بر توسعه ریشه گیاه، بهره‌وری آب و تعدیل محصول به تنش دارند بیان می‌شوند. در نهایت مقدار عملکرد محصول با استفاده از جرم قسمت هوایی پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و شاخص برداشت تعدیل شده محاسبه می‌گردد (۱۶ و ۱۸). در این مدل مشابه مدل CROPWAT تأثیر تنش شوری و تنش‌های زنده مانند آفات و بیماری‌ها لحاظ نشده است. این مدل معتبر و پیچیده برنامه‌ریزی آبیاری از چهار دسته داده ورودی شامل: داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه‌ای تشکیل یافته است. مهمترین داده‌های ورودی اقلیمی مورد نیاز مدل عبارتند از داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) و بارندگی می‌باشند. مدل از داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه برای محاسبه درجه روز رشد[2] (GDD) به منظور تعدیل عملکرد بیولوژیک بر اثر خسارات ناشی از سرما، استفاده می‌کند (۲۳).

با توجه به این که روش فائو- پنمن- مانتیث توسط سازمان خوار و بار و کشاورزی سازمان ملل متحد به عنوان معتبرترین روش تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع معرفی شده است و از طرف دیگر علت انتخاب روش فائو- پنمن- مانتیث این است که اساس و ماهیت فیزیکی داشته، پارامترهای فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه و آیرودینامیک هوا را در خود لحاظ کرده و به خوبی می‌تواند میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن را در منطقه مورد مطالعه برآورد نماید (۶ و ۷). میانگین سالیانه غلظت CO_2 برای سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ به صورت آماده در مدل (اندازه‌گیری شده در رصدخانه Mauna Loa در هاوایی تا سال 2009) وجود دارد. داده‌های مورد نیاز خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_{sat})، رطوبت حجمی خاک درحد اشباع ($\theta_{v_{sat}}$)، رطوبت حجمی خاک درحد ظرفیت زراعی ($\theta_{v_{fc}}$)، رطوبت حجمی خاک درحد نقطه پژمردگی دائم ($\theta_{v_{PWP}}$) و بافت خاک می‌باشد. داده‌های مربوط به گیاه و روابط آن با وضعیت آب در خاک و نیاز تبخیری اتمسفر به دو گروه پارامترهای گیاهی ثابت و پارامترهای گیاهی متغیر تقسیم می‌شوند. پارامترهای گیاهی ثابت برای اکثر گیاهان زراعی به صورت پیش‌فرض در مدل AquaCrop وجود دارند. این پارامترها با گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند. این پارامترها با استفاده از داده‌های مربوط به رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده اند و در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۰ و ۱۱).

در مدل AquaCrop این پارامترها در شرایط وجود تنش آبی از طریق تأثیر ضریب حساسیت گیاه به کم آبی (K_y) تعدیل می‌شوند. این پارامترها به صورت پیش‌فرض در مدل برای گونه‌های زراعی مهم (مانند گندم، جو، ذرت، پنبه و سویا) وجود دارد. بنابراین در این مطالعه برای ارزیابی و آنالیز حساسیت مدل AquaCrop از پارامترهای پیش‌فرض مدل استفاده شد. مقدار بهره‌وری آب (WP^*) در رابطه ۲ با استفاده از داده‌های نیاز تبخیری، مراحل فنولوژیکی و متوسط غلظت CO_2 در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ در نظر گرفته شد و حداکثر پوشش تاجی با استفاده از تراکم کشت (۳۰۷۶۹۲ بوته در هکتار) تعدیل شد. به داده‌های ورودی مربوط به پارامترهای اقلیمی و خاک که تابع زمان، مکان، تراکم کشت و مدیریت آبیاری می‌باشند، اصطلاحاً پارامترهای مخصوص کاربر گفته می‌شوند. پارامترهای مخصوص کاربر عبارت از: حداکثر عمق ریشه، تراکم کشت، زمان کاشت و مدیریت آبیاری درسطح مزرعه می‌باشند (جدول۳) (۱۱).

تاریخ جوانه‌زنی[3] یکی از مهمترین پارامترهای گیاهی است که باید توسط کاربر به درستی وارد شود. تاریخ جوانه‌زنی به شرایط رطوبتی خاک و عمق کاشت بذور بستگی دارد. تاریخی که در آن ۹۰ درصد بذور سبز می‌شوند به عنوان تاریخ ظهور پوشش تاجی در نظر گرفته می‌شود (۱۱ و ۱۹).

1- Water Productivity (WP)
2- Growing Degree Days
3- Date of Emergence

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳- برخی پارامترهای گیاهی متغیر مربوط به مراحل فنولوژیکی سویا که اندازه‌گیری شده در طول فصل کشت

تراکم کشت (بوته در هکتار)	روز پس از کاشت[1]						
	سبز شدن	سبزینه‌ای	گل‌دهی	تشکیل غلاف	پر شدن غلاف	رسیدگی فیزیولوژیکی	حداکثر عمق ریشه (cm)
۳۰۷۶۹۲	۱۰	۴۰	۶۵	۸۷	۱۱۱	۱۲۱	۶۰

مدل AquaCrop ابتدا با استفاده از رابطه ضریب حساسیت (رابطه۳)، آنالیز حساسیت شده و پارامترهایی که بیشترین تأثیر را روی نتایج (داده‌های خروجی) حاصل از شبیه‌سازی مدل دارند مشخص شده و بر اساس این داده‌ها و تغییر دادن آنها با مقایسه آنها با داده‌های واقعی حاصل از مطالعه میدانی در سطح مزرعه، تا حدی که نتایج شبیه‌سازی مدل نسبت به مقادیر واقعی اختلاف ناچیزی نشان‌دهند که اصطلاحاً بتوان گفت مدل به خوبی واسنجی[2] شده است.

$$Sc = \frac{\frac{\Delta W}{\overline{W}}}{\frac{\Delta P}{\overline{P}}} \qquad (۳)$$

که در آن S_c ضریب حساسیت بدون بعد، ΔW اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\overline{W}$ متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، ΔP اختلاف مقادیر پارامتر ورودی و $\overline{P}$ متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل می‌باشد. برای استفاده از رابطه ۳ برای تعیین آنالیز حساسیت مدل دامنه تغییرات ضریب حساسیت توسط لیو و همکاران (۱۴) و هنگ و همکاران (۱۱) پیشنهاد شده است (جدول۴).

روش ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول و بهره‌وری آب

برای تعیین بهره‌وری آب سویا عملکرد در واحد سطح بر مجموع آب آبیاری تقسیم شد شاخص بهره‌وری آب می‌تواند برای تعیین بهترین تیمار کم آبیاری شاخص مناسبی باشد. برای بررسی نتایج حاصل از مدل با نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت‌یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل از یکسری از شاخص‌های ارزیابی مزرعه‌ای شامل حداکثر خطا (ME[3]) مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE[4])، ضریب باقیمانده (CRM[5])، ضریب تبیین (CD[6])، کارایی مدل‌سازی (EF[7]) و شاخص سازگاری (d[8]) استفاده می‌شود. روابط این شاخص‌ها به ترتیب به صورت زیر می‌باشند:

$$ME = MAX\left|P_i - Q_i\right| \qquad (۴)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - Q_i\right)^2}{n}\right]^{1/2} \qquad (۵)$$

$$CD = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - Q_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - \overline{Q_i}\right)^2}\right] \qquad (۶)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - \overline{Q_i}\right)^2 - \sum_{i=1}^{n}\left(P_i - Q_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - \overline{Q_i}\right)^2} \qquad (۷)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \qquad (۸)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - P_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - \overline{Q}\right)^2} \qquad (۹)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - Q_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|P_i - \overline{Q}\right| + \left|Q_i - \overline{Q}\right|\right)^2} \qquad (۱۰)$$

که در روابط فوق P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\overline{Q_i}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. حداقل مقدار ME، $RMSE$ و CD

1- Day After Sowing (DAS)
2- Calibration
3- Maximum Error

4- Root Mean Square Error
5- Coefficient of Residual Mass
6- Coefficient of Determination
7- Modeling Efficiency
8- Index of Agreement

Archive of SID

www.SID.ir

صفر است. حداکثر مقدار EF برابر یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقادیری منفی داشته باشند. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است در حالی‌که $RMSE$ نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. شاخص CD نسبت پراکندگی[1] را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار شاخص EF، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآورد بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. شاخص CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های $RMSE$، ME و CRM برابر صفر و مقدار شاخص CD، EF، E و d برابر یک می‌شوند. ضریب E بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین می‌باشد. مقدار ضریب E بین $-\infty$ تا ۱+ متغیر است هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد مدل کاراتر است. ضریب d یک پارامتر توصیفی است که مقدار آن از $-\infty$ تا ۱+ متغیر است در این مطالعه کلیهٔ شاخص‌های آماری بیان شده در مقاله برای مقایسهٔ مقادیر درصد کاهش عملکرد واقعی مشاهده شده در سطح مزرعه و همچنین مقادیر درصد کاهش عملکرد پیش‌بینی به وسیله مدل برای محصول سویا با دور آبیاری ۷ روز مورد محاسبه قرار گرفت (۱۵).

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت مدل AquaCrop

مقادیر حساسیت محاسبه شده برای تعدادی از پارامترهای ورودی مدل AquaCrop در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس دامنه تغییرات پیشنهاد شده توسط لیو و همکاران (۱۴) و هنگ و همکاران (۱۱) نتایج نشان می‌دهد مدل نسبت به پارامترهای زمان سبز شدن بذرها، طول زمان گل‌دهی، مرحله رشد سبزینه‌ای، تقویم کاشت تا حداکثر رشد ریشه، تراکم کشت و تقویم کاشت تا گل‌دهی حساسیت خیلی کمی دارد. بنابراین خطای حاصل از اندازه‌گیری آن داده‌ها در سطح مزرعه قابل اغماض می‌باشد. همچنین حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات ضریب گیاهی دو جزئی پیش‌فرض مدل، رشد پوشش تاجی گیاه (CCG)، بهره‌وری آب نرمال شده (WP)، شاخص برداشت (HI)، زمان پر شدن غلاف، زمان گل‌دهی و رطوبت اولیه خاک (در تیمارهای مختلف آبیاری) بیشتر از سایر پارامترها است. بنابراین بایستی این داده‌ها با دقت بیشتری اندازه‌گیری شوند زیرا در غیر این صورت خطای قابل توجهی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل به وجود می‌آید. حساسیت مدل به عمق آب آبیاری در تیمارهای مختلف آبیاری کاملاً متفاوت بود به نحوی که با کاهش آب آبیاری حساسیت مدل نسبت به تغییرات عمق آب آبیاری بیشتر می‌شود. به دلیل اینکه با افزایش عمق آب آبیاری کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد، در یک عمق آبیاری معین حساسیت مدل نسبت به تغییر ۲۵- درصدی بیشتر از تغییر ۲۵+ درصدی می‌باشد.

ارزیابی مدل AquaCrop با شاخص‌های آماری به کمک داده‌های مزرعه‌ای

مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه و شبیه‌سازی شده توسط مدل و همچنین درصد انحراف مقادیر به دست آمده توسط مدل با مقادیر واقعی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که همانطوری که قابل انتظار بود با افزایش مقدار آب آبیاری تا حد تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه روند افزایش عملکرد محصول یک روند کاملاً صعودی می‌باشد. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop می‌تواند مقادیر عملکرد محصول را به خوبی شبیه‌سازی نماید (درصد خطا کمتر از ۴/۶ درصد می‌باشد). همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که تلفات نفوذ عمقی در تیمارهای آبیاری کامل، تیمار کم آبیاری سنتی در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و تیمار آبیاری بخشی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک به ترتیب ۱۳۲، ۱۱۷، ۷۵ و ۲۹ میلی‌متر بود.

خلاصه‌ای از نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌های آماری در جدول ۷ ارائه شده است. مقدار ضریب CRM منفی و نزدیک صفر می‌باشد که نشان دهنده این است که مدل عمدتاً مقدار عملکرد محصول را اندکی بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند. ماکزیمم خطا (ME) در تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) به مقدار ۵/۹۷ درصد حاصل شد.

مقدار شاخص سازگاری (d) بسیار به یک نزدیک است که نشان دهنده سازگاری روند کاهش عملکرد محصول با کاهش میزان آب آبیاری در مدل نسبت به روند عملکرد محصول اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه با میزان آب آبیاری می‌باشد. شاخص‌های آماری E و EF برابر ۰/۸۵ و ۰/۸۳ می‌باشد که نشان دهنده کارایی نسبتاً قابل قبول مدل در شبیه‌سازی پارامترهای قابل پیش‌بینی است. شاخص تبیین (CD) برابر ۰/۲۱ می‌باشد که با توجه به این که دامنه تغییرات مقادیر ضریب تبیین بین ۰ تا ۱ می‌باشد این عدد مقدار بسیار کمی است که نشان می‌دهد مقادیر پراکندگی نتایج پیش‌بینی مدل و نتایج میدانی (مزرعه‌ای) برای مقادیر درصد کاهش عملکرد بسیار اندک است. ضریب RMSE که بر حسب درصد بیان می‌شود کمتر از ۵ درصد است که این امر نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی

1- Scatter Ratio

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای قابل پیش‌بینی است.

جدول٤- طبقه‌بندی پیشنهاد شده برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت

دامنه تغییرات	S_c=۰	۰< S_c <۰/۳	۰/۳< S_c <۱/۵	S_c>۱/۵
شدت حساسیت	بدون حساسیت	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد

جدول۵- ضریب حساسیت برخی پارامترهای ورودی مدل AquaCrop

	پارامترهای ورودی مدل	مقدار S_c در حالت ۲۵+٪	مقدار S_c در حالت ۲۵-٪	درجه حساسیت
پارامترهای زراعی	K_{cb}	۰/۸۶	۱/۳۳	متوسط
	تراکم کشت	۰/۰۸	۰/۱۸	کم
	رشد پوشش تاجی (CCG)	۰/۲۵	۰/۶۹	متوسط
	بهره‌وری آب نرمال شده (WP)	۱/۴۵	۰/۳۷	متوسط
	شاخص برداشت (HI)	۰/۱۲	۱/۳۲	متوسط
	زمان سبز شدن بذرها	۰/۰۰	۰/۰۰	ندارد
	زمان رشد سبزینه‌ای گیاه	۰/۰۹	۰/۲۸	کم- متوسط
	زمان گل‌دهی	۰/۸۴	۱/۶۱	متوسط- زیاد
	زمان تشکیل غلاف	۰/۰۵	۰/۲۴	کم
	زمان پر شدن غلاف توسط دانه	۰/۷۱	۱/۹۶	متوسط-زیاد
	تعداد روز از کاشت تا ماکزیمم عمق ریشه	۰/۰۴	۰/۰۲	کم
	زمان از کاشت بذرها تا گل‌دهی	۰/۰۶	۰/۰۷	کم
	زمان رسیدگی فیزیولوژیکی	۰/۱	۰/۱۷	کم
رطوبت اولیه خاک	تیمار آبیاری کامل (FI)	۰/۰۰	۰/۰۰	ندارد
	تیمار $DI_{75\%}$	۰/۰۱	۰/۲۳	کم
	تیمار $DI_{50\%}$	۰/۰۳	۱/۵۹	کم- زیاد
	تیمار $PRD_{50\%}$	۰/۰۷	۱/۸۶	کم- زیاد
شرایط اولیه خاک	هدایت هیدرولیکی اشباع عمودی	۰/۰۰	۰/۰۷	کم
عمق آب آبیاری	تیمار آبیاری کامل (FI)	۰/۰۰	۰/۰۱	ندارد
	تیمار $DI_{75\%}$	۰/۰۲	۰/۰۷	کم
	تیمار $DI_{50\%}$	۰/۰۸	۰/۳۹	کم- متوسط
	تیمار $PRD_{50\%}$	۰/۲۹	۱/۴۸	کم- متوسط

جدول ٦- مقایسه مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمارهای مختلف آبیاری

	عملکرد محصول (Kg/ha)		
تیمارهای مختلف آبیاری	شبیه‌سازی شده	اندازه‌گیری شده	درصد انحراف مقادیر
تیمار آبیاری کامل (FI)	۳۶۲۲/۹	۳۷۹۷/۶[a]	۴/۶
تیمار $DI_{75\%}$	۳۸۱۰/۱	۳۶۶۷/۱[b]	۳/۷۵
تیمار $DI_{50\%}$	۳۳۲۱/۸	۳۲۶۹/۵[c]	۱/۵۷
تیمار $PRD_{50\%}$	۳۲۷۶/۶	۳۱۷۸/۱[d]	۳/۰۱

در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهایی که با حرف یکسان نشان‌داده شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن($P\leq0.05$)، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۷- شاخص‌های آماری برای تعیین درجه اعتماد مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول نسب به آب قابل دسترس

RMSE	CD	EF	E	d	ME	CRM
۴/۴۲	۰/۲۱	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۹۸	۵/۹۷	-۰/۰۲

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۸- مقایسه مقادیر کارایی مصرف آب سویا و تبخیر- تعرق گیاهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمارهای آبیاری

تیمارهای آبیاری	WUE (Kg/m^3)			ETc(mm)		
	شبیه‌سازی شده	اندازه‌گیری شده	درصد انحراف مقادیر	شبیه‌سازی شده	اندازه‌گیری شده	درصد انحراف مقادیر
FI	۰/۴۶	۰/۴۴^{d}	۳/۹	۶۴۷/۹۹	۶۵۶/۳	۱/۳
$DI_{75\%}$	۰/۵۹	۰/۵۶^{c}	۳/۶	۵۹۹/۱۹	۵۸۶/۲۹	۲/۲
$DI_{50\%}$	۰/۷۸	۰/۷۶^{b}	۲	۵۱۰/۰۱	۴۹۶/۶	۲/۷
$PRD_{50\%}$	۱/۴۸	۱/۴۷^{a}	۰/۴	۴۷۵/۰۵	۴۵۷/۲۲	۳/۹

در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهایی که با حرف یکسان نشان‌داده شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن($P\leq0.05$)، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

همچنین قابلیت مدل در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق تجمعی گیاه (ET_c) و کارایی مصرف آب[1] سویا مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول۸). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل AquaCrop قادر است مقدار ET_c را با خطای کمتر از ۴ درصد شبیه‌سازی نماید. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات هنگ و همکاران (۱۱) و استدیو و همکاران (۲۳) همخوانی خوبی دارد، به نحوی که در این مطالعات خطای حاصل از شبیه‌سازی کمتر از ۵ درصد گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

مدل AquaCrop قادر است مدیریت مصرف آب را برای هر مزرعه، متناسب با شرایط اقلیمی، خاک و خصوصیات گیاهی محاسبه کرده و همچنین راهکارهای مدیریت مزرعه از جمله زمان کاشت، تراکم کشت و کودهای شیمیایی را بهبود بخشیده و با توجه به جداول ۷ و ۸ عملکرد محصول و کارایی مصرف آب را به خوبی شبیه سازی نماید به نحوی که حداکثر درصد انحراف مقادیر کمتر از ۴/۶ درصد می‌باشد که با مطالعات هنگ و همکاران (۱۱) همخوانی قابل قبولی دارد. با توجه به این‌که مقدار عملکرد محصول علاوه بر میزان آب قابل دسترس به عنوان یکی از مهمترین نهاده‌های کشاورزی به عوامل بسیار متعددی نظیر مقدار و زمان مصرف کود، نحوه مصرف کود، درجه شوری خاک، درجه حاصلخیزی مزرعه، وضعیت مزرعه از نظر نوع کشت در سال قبل و آفات و بیماری‌ها بستگی‌دارد. مدل AquaCrop 3.1 هنوز نسبت به این عوامل قابل واسنجی نبوده و می‌توان گفت که یکی از نقاط ضعف مدل می‌باشد. توصیه می‌شود در تحقیقات آینده با انجام طرح‌های آزمایش‌های کشاورزی حداقل دو ساله نه تنها مدل ارزیابی شود بلکه مورد واسنجی و اعتباریابی هم قرار گیرد.

منابع

۱- بابازاده ح.، سرائی تبریزی م.، پارسی‌نژاد م. و مدرس ثانوی ع.م. ۱۳۸۹. بررسی برخی صفات کیفی و کمی زراعی سویا (*Glycine max* L. Merrill) در شرایط تنش آبی. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۴ (۲):۱۰۹-۹۹.

۲- پورموسوی م.، گلوی م.، دانشیان ج.، قنبری ا. و بصیرانی ن. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر تنش خشکی و کود دامی بر محتوای رطوبت، میزان پایداری غشاء سلول و محتوای کلروفیل برگ سویا. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۴): ۱۳۴- ۱۲۵.

۳- توکلی ع. ۱۳۸۵. تخمین تابع تولید گندم و بهینه‌سازی کم آبیاری و نیتروژن. مجله پژوهش و سازندگی، (۷۱): ۳۳- ۲۵.

۴- علیزاده ح.، نظری ب.، پارسی‌نژاد م.، رمضانی اعتدالی ه. و جانباز ح. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه کرج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، (۴): ۲۸۳-۲۷۳.

۵- سرائی تبریزی م.، بابازاده ح.، پارسی‌نژاد م. و مدرس ثانوی ع.م. ۱۳۸۹. بهبود کارایی مصرف آب سویا با استفاده از آبیاری بخشی منطقه ریشه (Partial Root Drying). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، ۱۴(۵۲):۱۳-۱.

6-Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. FAO Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper N0.56.

7-Dehghanisanij H., and Nakhjavani M.M. 2009. Assessment of wheat and maize productivities and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions. Irrig. and Drain. J. 58: 105–115.

8-Egli D.B., and Bruening W. 1992. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO, Agricultural and Forest Meteorology J., Vol.62, pp 19-29.

1- Water Use Efficiency (WUE)

Archive of SID

www.SID.ir

9-García-Vila M., Fereres E., Mateos L., Orgaz F., and Steduto P. 2009. Deficit Irrigation Optimization of Cotton with AquaCrop. Agron. J. 101: 477–487.
10-Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R., Cusicanqui J.A., Taboada C., Mendoza J., Huanca R., Mamani A., Condori O., Mamani J., Morales B., Osco V., and Steduto P. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. Agron. J. 101: 499–508.
11-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 Agron. J. 101: 488–498.
12-Jones C.A., Kiniry J.R., and Dyke P.T. 1986. CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development, User's guide of CERES-Maize. Texas University Press College Station (USA).
13-Kuo Sh.F., Lin B.J., and Shieh H.J. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. Agricultural Water Mmanagement Journal, 82: 433-451.
14-Liu H.F., Genard M., Guichard S., and Bertin N. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes, Journal of Experimental Botany, Vol 58, No 13, pp. 3567-3580.
15-Loague K., and Green R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. Journal of Contaminant Hydrolohy, 7: 51-73.
16-Marinov D., Querner E., and Roelsma J. 2005. Simulation of water flow and nitrogen transport for a Bulgarian experimental plot using SWAP and ANIMO models. Journal of Contaminant Hydrology, 77: 145-164.
17-Meyer G.E., Curry R.B., Streeter J.G., and Baker C.H. 1981. Simulation of reproductive processes and senescence in indeterminate soybeans. Transactions of the ASABE. 24 (2): 421- 429.
18-Raes D. 2002. Reference manual of Budget model. K. U. Leuven, Faculty of Agricultural and Applied Biological sciences, Institute for Land and Water Management, Leuven, Belgium.
19-Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., and Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. Agron. J. 101: 438–447.
20-Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., and Fereres E. 2011. Reference Manual AquaCrop plug-in program (Version 3.1+) FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.
21-Sarai Tabrizi M., Parsinejad M., and Babazadeh H. 2011. Efficacy of partial root drying technique for optimizing soybean crop production in semi-arid regions. Irrig. and Drain. Journal. 61(1): 80-88.
22-Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., and Fereres E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrig. Sci. 25:189–207.
23-Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., and Fereres E. 2009. AquaCrop—the FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. Agron. J. 2009 101: 426–437.
24-Todorovic M., Albrizio R., Zivotic L., Abi Saab M., Stöckle C., and Steduto P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth under Different Water Regimes. Agron. J. 101: 509–521.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 329-339

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۳۳۹-۳۲۹

Assessment of AquaCrop Model under Soybean Deficit Irrigation Management Conditions

H. Babazadeh[1*]- M. Sarai Tabrizi[2]

Received:16-4-2011
Accepted:4-12-2011

Abstract

AquaCrop model is a powerful tool and valuable for improvement of water management in the field and calculating water productivity. Simplicity, necessity for minimum input data and acceptable accuracy are the advantages of this model. In this research in order to evaluate and analyze the sensitivity of AquaCrop model, field data under soybean planting in Karaj area were used. This experiment was conducted in 2008 in form of randomized complete block design in three replications and four furrow irrigation treatments including: full irrigation (at 100 percent of the soil moisture deficit compensation), conventional deficit irrigation at 75 and 50 percent of the soil moisture deficit compensation and partial root drying at 50 percent of the soil moisture deficit compensation. The results showed that AquaCrop model can simulate crop yield, crop evapotranspiration and soybean water use efficiency acceptably. The results of this research based on sensitivity coefficient rates (S_c) show that input data of the model don't have any sensitivity to date of emergence, initial soil moisture and irrigation water depth in full irrigation treatment.

Keywords: AquaCrop model, Crop evapotranspiration, Crop yield, Soybean

Archive of SID

1,2- Assistant Professor and PhD Student, Department of Water Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(*-Corresponding Author Email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir)

www.SID.ir