نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال چهارم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۳

ISSN 2251-7480

شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از مدل AquaCrop

محمد قربانیان کردآبادی[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲*]، ابراهیم وطن‌خواه[۳]، و حمیده نوری[۴]

۱) دانشجوی دکتری؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ تهران؛ ایران

۲*) استاد؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ تهران؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: aliaghat@ut.ac.ir

۳) دانشجوی کارشناسی ارشد؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ تهران؛ ایران

٤) استادیار، گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۳/۳۰

چکیده

استفاده از مدل‌های گیاهی هم‌چون مدل AquaCrop می‌تواند ابزاری مفید برای مدیریت کارآتر مصرف آب باشد که این مدل‌ها قبل از بکارگیری بایستی مورد ارزیابی قرار گیرند. در این پژوهش، دقت مدل AquaCrop در برآورد وزن تر اندام هوایی و تبخیر و تعرق ذرت در شرایط متفاوت بافت و حاصلخیزی خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار بافت خاک (لوم رسی سیلتی، لوم و لومی شنی) و در سه سطح حاصلخیزی خاک (بدون افزودن کود، افزودن یک و دو درصد کود به خاک) و در سه تکرار در تابستان سال ۱۳۹۱ در منطقه جی و قهاب اصفهان اجرا شد. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل در پیش‌بینی وزن تر اندام هوایی ذرت علوفه‌ای بسیار کارآمد است. میانگین خطای نرمال شده (nRMSE) در برآورد وزن تر اندام هوایی ذرت در مرحله واسنجی و صحت سنجی به‌ترتیب ۰/۸۷٪ و ۰/۶۷٪ بدست آمد. پیش‌بینی تبخیر و تعرق ذرت در طول فصل رشد توسط مدل با میزان خطای بیشتری همراه بود. بیشینه و کمینه میانگین ریشه مربعات خطای مدل، در تیمارهای خاک لومی شنی با افزودن دو درصد کود (SLF2) و خاک لوم با افزودن یک درصد کود(LF1) به‌ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۱/۴۲ میلی‌متر بر روز بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین مقادیر RMSE و nRMSE در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق ذرت در خاک لوم شنی به ترتیب برابر ۱/۱۶ و ۲۴/۳٪ است که بیش‌تر از میانگین مقادیر RMSE و nRMSE در دو نوع خاک لوم رسی سیلتی و لوم –که به‌ترتیب برابر ۱/۰۸، ۲۶/۲٪ و ۰/۹۳، ۲۰/۴٪ است– می‌باشد. البته باید به این نکته توجه داشت که دقت مدل در پیش‌بینی تبخیر و تعرق در سطوح مختلف حاصلخیزی خاک بسته به بافت خاک متفاوت بود به‌طوری‌که در خاک لوم بیش‌ترین میزان خطا در تیمار بدون افزودن کود(۰/۹۷ میلی‌متر) و در خاک لوم شنی در تیمار با افزودن دو درصد کود(۱/۴۲ میلی‌متر) حاصل گردید.

کلید واژه‌ها: مدل‌های گیاهی؛ مدیریت مصرف آب؛ نیاز آبی؛ واسنجی و صحت سنجی مدل

مقدمه

کاهش شدید منابع آب، تغییرات اقلیمی و به دنبال آن سیاستگذاری‌ها برای کاهش آب تخصیصی بخش کشاورزی موجب شده که مدیریت مصرف آب در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردد. مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی بدون توجه به روابط آب، خاک و گیاه امری غیرممکن است. به دلیل اینکه آزمایش‌های مزرعه‌ای نیازمند صرف وقت، هزینه و انرژی بوده و همچنین به دلیل محدودیت این آزمایش‌ها به شرایط فیزیکی مزرعه، کوتاه بودن مدت آزمایش و نیز محدودیت در تعداد سناریوهایی که توسط آزمایش بررسی می‌شوند، استفاده از مدل‌ها و نرم افزارها در روابط آب و خاک

Archive of SID

www.SID.ir

توسعه یافته است (Russo and Bakker, 1986). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل SWAP، WOFOST، Crop Syst، CROPWAT، Budget و CRPM اشاره کرد که هر کدام مزیت‌هایی بر دیگری دارد (Stockle *et al.*, 1994؛ Sepaskhah *et al.*, 2006؛ van Dam and, 2008؛ Kroes).

مدل AquaCrop یکی دیگر از مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو) توسعه یافته است. نتایج تحقیقات Todorovic و همکاران (۲۰۰۹) برای مقایسه مدل‌های AquaCrop، WOFOST و Crop Syst در شبیه سازی عملکرد گیاه آفتاب گردان در جنوب ایتالیا نشان داد که مدل AquaCrop به دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کمتر ترجیح دارد. این مدل که نسخه اولیه آن در سال ۲۰۰۷ ساخته شده، مدلی فراگیر بوده به این معنا که برای محدوده وسیعی از محصولات مختلف زراعی، روغنی و غده‌ای قابل استفاده است (Raes *et al.*, 2012).

Heng و همکاران (۲۰۰۹) از این مدل برای شبیه سازی عملکرد گیاه جو در شرایط آب و هوایی مختلف در پنج منطقه (اتیوپی، ایتالیا، سوریه، مونتانا و امریکا) در سال‌های مختف استفاده نمودند که نتایج نشان داد که مدل برای شرایط محیطی و آب وهوایی مختلف قادر است عملکرد گیاه را به خوبی شبیه‌سازی کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که در تنش‌های شدید کم آبیاری مدل در شبیه سازی پارامترها از دقت رضایت بخشی برخوردار نیست (Heng et al., 2009).

علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) کارآیی مدل AquaCrop را برای گندم در منطقه کرج برای دور آبیاری ۷ و ۱٤ روز مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل در پیش بینی عملکرد دانه، کارآیی مصرف آب قابلیت خوبی داشت ولی با افزایش دور آبیاری به ۱٤ روز، دقت مدل کاهش یافت. در ارزیابی مدل AquaCrop برای کلزا توسط اروانه و عباسی (۱۳۹۳) مدل عملکرد محصول، تغییرات رطوبت خاک، عمق توسعه ریشه و وزن اندام هوایی را به خوبی در مزرعه پیش بینی کرد. در این تحقیق مقدار میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) برای عمق توسعه ریشه و وزن توده اندام هوایی به ترتیب برابر ۰/۰۸ متر و ۱/٦ تن بر هکتار بدست آمد.

مدل AquaCrop در سال ۲۰۱۲ با اضافه کردن اثر تنش شوری بر رشد گیاه و شبیه سازی انتقال املاح، ارتقاء یافت (Raes *et al.*, 2012). خرسند و همکاران (۱۳۹۳) با در نظر گرفتن سطوح مختلف شوری و کم آبیاری بر روی گیاه گندم، با استفاده از مدل AquaCrop عملکرد دانه، رطوبت و شوری خاک در تیمارهای مختلف را پیش بینی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop در پیش بینی شوری عصاره اشباع در مقایسه با عملکرد دانه و رطوبت خاک خطای بیشتری داشت.

Stricevic و همکاران (۲۰۱٤) اثر کم آبیاری و افزودن کود نیتروژن بر عملکرد ذرت و بهروه وری آب طی سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در دهلی را با استفاده از مدل AquaCrop شبیه سازی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور از دقت خوبی در برآورد مقدار زیست توده و وزن دانه ذرت برخوردار است (میانگین ریشه مربعات خطا در این تحقیق ۰/۲۹ تا ۰/٤۲ تن بر هکتار و ضریب تبیین ۰/۹ تا ۰/۹۱). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که دقت مدل با افزایش سطح تنش کاهش می‌یابد به طوریکه کمترین دقت در تیمار بدون افزودن کود و تیمار حداکثر کم آبیاری حاصل شد. میزان خطای مدل AquaCrop در شبیه سازی بهره وری آب ۲/۳۵ تا ۲۷/۵ درصد بود (Stricevic *et al.*, 2014).

فقیر بودن خاک‌های مناطق مرکزی کشور و کمبود مواد آلی در این خاکها به عنوان یک تنش محیطی برای گیاهان باعث می‌شود که میزان تبخیر و تعرق و عملکرد گیاهان متفاوت از تبخیر و تعرق محاسباتی بر اساس نشریه ٥٦

Archive of SID

www.SID.ir

فائو باشد(Allen *et al.*, 1998). علاوه بر این ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه ٥٦ فائو عمدتاً مربوط به خاکهای آمریکای شمالی و اروپا بوده که این خاکها از نظر مواد آلی غنی می‌باشد (Allen *et al.*, 1998) و استفاده از این ضرایب گیاهی برای گیاهان در فلات مرکزی ایران نیازمند بررسی است. در زمینه شبیه سازی اثر کم آبیاری بر محصولات مختلف با استفاده از مدل AquaCrop تا بحال تحقیقات زیادی انجام شده ولی در زمینه شبیه سازی اثر تنش حاصلخیزی بر عملکرد و تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از این مدل تحقیقات محدودی انجام شده است. لذا هدف از این تحقیق شبیه سازی اثر تنش ناشی از کاهش حاصلخیزی خاک بر عملکرد و تبخیر و تعرق ذرت علوفه ای در سه بافت مختلف خاک با استفاده از مدل AquaCrop است.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری داده‌های مزرعه‌ای

آزمایش به صورت کشت لایسیمتری در مزرعه آزمایشی در بخش جی و قهاب شهرستان اصفهان در تابستان ۱۳۹۱ انجام شد. این محل با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک می‌باشد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار بافت و سه تیمار تراکم خاک در سه تکرار و مجموعاً در ۲۷ میکرولایسیمتر انجام شد. در این تحقیق از میکرولایسیمتر زهکش‌دار به ارتفاع ۸۰ و قطر ۳۲ سانتی‌متر که در آنها لوله ١٦ میلی‌متری سوراخ‌دار با فیلتر مصنوعی (پارچه‌ای) و فیلتر شنی به عنوان زهکش تعبیه شده بود، استفاده گردید. خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل سه نوع خاک سنگین، متوسط و سبک بود. خاک سنگین با بافت لوم رسی سیلتی از محل مزرعه، خاک سبک با بافت لوم شنی از مزرعه کشاورزی در منطقه روشن دشت در فاصله ٦ کیلومتری از مزرعه آزمایشی تهیه شد و خاک با بافت لوم از ترکیب و اختلاط مساوی دو بافت سبک و سنگین تهیه گردید. آب آبیاری از چاه آب در نزدیکی محل مزرعه تهیه شد. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه و آب آبیاری در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاکهای مورد مطالعه

بافت	رس (٪)	سیلت (٪)	شن(٪)	درصد رطوبت ظرفیت زراعی ($cm^3.cm^{-3}$)	درصد رطوبت پژمردگی دائم ($cm^3.cm^{-3}$)	جرم مخصوص ظاهری ($cm^3.cm^{-3}$)
لوم رسی سیلتی	۳۸	٤٤	۱۸	۳۳/۷	۱۵/۵	۱/۲۷
لوم شنی	۱۸	۱۹	٦۳	۲۳/۵	۱۱	۱/۵
لوم	۲٦	۲۹	٤٥	۲۹	۱۲/۵	۱/۳۸

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بافت	شوری ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته	سدیم ($meq.l^{-1}$)	کلسیم ($meq.l^{-1}$)	منیزیم ($meq.l^{-1}$)	نیترات ($meq.l^{-1}$)	آهک (٪)	کربنات آلی (٪)	فسفرقابل جذب ($mg.l^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.l^{-1}$)
لوم رسی سیلتی	۱/۱٤	۷/۸	۳/۱	۳/٦	۲/۸	۲۰۷	۳۰	۰/۸٦	۱۳/٤	۱٤۲
لوم شنی	۱/٦۲	۷/۷۲	٦/۱۹	٦/۳٥	۳/۹	۳۱۲	۲٥/۸	۰/۳۱	۲/٤	۱۷۳
لوم	۱/٤۲	۷/۷٥	٤/۹٥	٥/۲٥	۳/٤٥	۲۷۱	۲۷/٥	۰/٥۳	٦/۸	۱٦۱

جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری

شوری ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته ($meq.l^{-1}$)	سدیم ($meq.l^{-1}$)	کلسیم ($meq.l^{-1}$)	منیزیم ($meq.l^{-1}$)	سولفات ($meq.l^{-1}$)	کلر ($meq.l^{-1}$)	بی‌کربنات ($meq.l^{-1}$)	کربنات ($meq.l^{-1}$)
۱/۰۲	۷/٤	۳/۳	٤/۲	۳/۱	۱/۹	٥/۱	۳/۱	۰

خاک طبیعی مزرعه (بدون افزودن کود)، افزودن کود به میزان یک درصد و افزودن کود به میزان دو درصد وزن خشک خاک به عنوان سطوح تیمار حاصلخیزی خاک در این تحقیق در نظر گرفته شد. برای اعمال سطوح مختلف افزودن کود به خاک در میکرولایسیمترها، ابتدا رطوبت خاک‌ها و جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها در شرایط تراکم طبیعی خاک مزرعه تعیین گردید و سپس با توجه به حجم میکرولایسیمتر، وزن خشک خاک‌ها برای بافت‌های مختلف لوم رسی سیلتی، لوم و لوم شنی محاسبه شده و قبل از پر کردن میکرولایسیمترها کود کاملا نرم و پوسیده مشابه با کود مورد استفاده در منطقه (مخلوط کود گاو، گوسفند، مرغ، برگ خشک پوسیده و ضایعات شلتوک) به میزان یک و دو درصد وزن خشک با خاک به خوبی مخلوط گردید. به منظور تطبیق بیشتر شرایط کشت با شرایط مزرعه گودالی به عمق ۲۵ سانتی متر و طول و عرض ۳۰۰ و ۲٤۰ سانتی‌متر حفر گردید و میکرولایسیمترها در سه ردیف (سه تکرار) به فاصله ۷۵ سانتی‌متر، کنار هم قرار داده شدند. پس از تهیه تیمارها تعداد چهار بذر ذرت رقم N.S.540 (رقم میان رس) در عمق ۵-۳ سانتی‌متری خاک هر لایسیمتر در ۱۵ مرداد ماه کاشته شد. به منظور کاهش اثر حاشیه‌ای بر تبخیر-تعرق، در اطراف محل طرح به مساحت ۵۰۰ متر مربع، ذرت مشابه با شرایط تحقیق کشت گردید.

با استفاده از رابطه ۱ که بیلان آب در خاک را بیان می‌کند، میزان تبخیر-تعرق ذرت بین دو آبیاری متوالی در طول فصل زراعی تعیین گردید (Allen *et al.*, 1998):

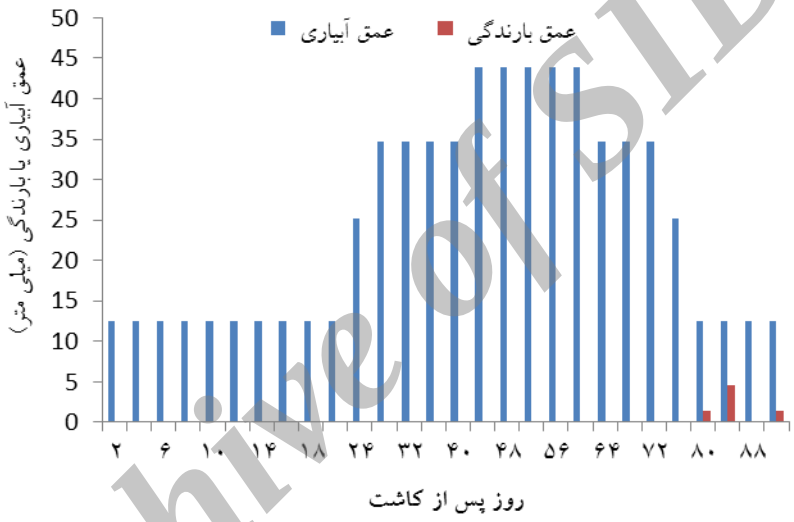
$$ETc = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad (1)$$

که در آن، I مقدار آب آبیاری، P میزان بارندگی، RO میزان رواناب، DP مقدار آب خروجی از زهکش، CR مقدار صعود موئینه از سطح ایستابی بالا، ΔSF تغییرات آب زیرزمینی و ΔSW تغییرات رطوبت یا آب خاک همگی بر حسب میلی‌متر و در فاصله زمانی دو آبیاری می‌باشد. با توجه به کشت ذرت در میکرولایسیمتر زهکش‌دار و عدم وجود سطح ایستابی، میزان RO، CR و ΔSF صفر در نظر گرفته شد. مقدار آب آبیاری و آب خروجی از زهکش‌ها با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد و حجم آب بارندگی از داده‌های ایستگاه هواشناسی (فرودگاه شرق اصفهان) استخراج گردید. نحوه انجام آبیاری به این صورت بود که ابتدا (در آبیاری اول) خاک درون میکرولایسیمترها از آب اشباع گردید. پس از خارج شدن آب ثقلی از خاک (۱۲ تا ٤۸ ساعت بسته به

Archive of SID

www.SID.ir

بافت خاک) رطوبت خاک برابر رطوبت ظرفیت زراعی (FC) می‌شود. با تبخیر آب از سطح خاک و مصرف آب توسط گیاه از میزان رطوبت خاک تا آبیاری بعدی کاسته می شود. با آبیاری مجدد و پس از گذشت ۱۲ تا ٤٨ ساعت رطوبت خاک مجدداً به میزان رطوبت در ظرفیت زراعی می‌رسد. بنابراین تغییرات رطوبت خاک بین دو آبیاری (FC-FC) صفر می‌باشد و میزان تبخیر-تعرق برابر اختلاف مقدار آب ورودی و خروجی خواهد بود. لازم بذکر است که آبیاری تیمارها در ۲۰ روز اول رشد که ریشه گیاه سطحی است یک روز در میان و در بقیه دوره رشد هر چهار روز یکبار انجام گردید. عمق آبیاری در آبیاری اول یا خاکاب برابر ۱۸/۸٤ سانتی متر بوده تا خاک از آب اشباع گشته و آب اضافی از زهکش ها خارج گردد. سپس متناسب با شدت برداشت آب از خاک (که عامل اصلی آن در ابتدای دوره رشد تبخیر از سطح خاک و سپس میزان تبخیر و تعرق است)، میکرولایسیمترها آبیاری شدند.



شکل ۱. نمودار عمق آبیاری و بارندگی در طول فصل رشد ذرت

پس از رسیدن بوته‌های ذرت به شش برگی تعداد بوته در هر میکرولایسیمتر به یک بوته در هر میکرولایسیمترکاهش داده شد. نهایتا ۹۲ روز پس از کاشت، در اوایل مرحله خمیری شدن دانه‌ها (زمان رسیدن به مرحله برداشت سیلویی)، برداشت ذرت انجام شد.

بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیقات انجام شده در منطقه اصفهان، روش تشت تبخیر با ضریب تشت تبخیر (کانکا) بهترین روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌باشد (رحیم زادگان، ۱۳۷۰؛ امیری و همکاران، ۱۳۸۷). لذا در تحقیق حاضر از این روش برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی فرودگاه شرق اصفهان (نزدیک‌ترین ایستگاه به مزرعه) استفاده گردید. در این تحقیق از ضریب کانکا ماهانه تحقیق امیری و همکاران (۱۳۸۷) به دلیل نزدیکی به زمان تحقیق حاضر (سال ۱۳۸۷) که اثر تغییر اقلیم در آن کمتر است، استفاده شد. این ضرایب در شرایط مزرعه‌ای برای ماههای مرداد، شهریور، مهر و آبان به ترتیب برابر ۰/٦۹۵، ۰/۷۲۷، ۰/۷۳۳ و ۰/۸۰٤ می‌باشد. لازم به ذکر است به دلیل عدم امکان کشت چمن به عنوان گیاه مرجع در اراضی اطراف مزرعه آزمایشی (به دلیل مالکیت خصوصی اراضی) با هدف ایجاد شرایط استاندارد اندازه‌گیری تبخیر - تعرق و کنترل اثر حاشیه‌ای (Allen et al., 1998)، از اندازه‌گیری تبخیر و تعرق مرجع به صورت مستقیم صرفنظر گردید.

Archive of SID
www.SID.ir

بافت‌های خاک لوم رسی سیلتی، لوم و لوم شنی با حروف SCL، L و SL و سطوح بدون افزودن کود به خاک، افزودن یک و دو درصد کود به خاک به ترتیب با حروف F0، F1 و F2 نامگذاری شدند.

توصیف مدل

روند کلی کار با مدل‌ها بدین صورت است که خروجی‌های بدست آمده با مقادیر اندازه گیری شده کمترین اختلاف ممکن را داشته باشد. مدل AquaCrop برای محاسبه‌ی ضریب حساسیت کم آبی بر اساس نسبت تبخیر و تعرق نسبی و عملکرد نسبی از رابطه ۲ استفاده می کند (Rase et al., 2012):

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

که در آن Y_x عملکرد بیشینه و Y_aعملکرد واقعی و ET_x تبخیر و تعرق بیشینه و ET_aتبخیر و تعرق واقعی و Ky ضریب حساسیت کم آبی است.

این مدل با تفکیک تبخیر–تعرق به تعرق از سطح گیاه (T_r) و تبخیر از سطح خاک (E) و همچنین توسعه‌ی یک مدل ساده رشد و پیری کانوپی گیاه به عنوان پایه‌ی برآورد تعرق از سطح گیاه و تأثیر دیگر پارامترهای مدیریتی به عملکرد بیولوژیک گیاه می‌رسد. با تفکیک تبخیر و تعرق می‌توان ازمصرف غیر تولیدی آب از طریق تبخیر از سطح خاک به ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل جلوگیری کرد. با استفاده از تعرق و میزان بهره وری آب که باید با توجه به هر گیاه و منطقه واسنجی شود می‌توان میزان عملکرد بیولوژیک گیاه را با استفاده از رابطه ۳ تخمین زد:

$$B = WP \times \sum T_r \quad (۳)$$

که T_r مقدار تعرق روزانه است که در رابطه ۳ باید کل تعرق در طول فصل زراعی در نظر گرفته شود، WP میزان بهره‌وری آب است. مقدار عملکرد وزن دانه نیز با استفاده از ماده ی خشک تولید شده و شاخص برداشت از رابطه٤ بدست می‌آید:

$$Y = B \times HI \quad (۴)$$

یکی از مشخصه‌های مهم مدل AquaCrop شبیه سازی کانوپی به جای شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) است. کانوپی میزان تعرق را مشخص می‌کند و تعرق مقدار بیوماس گیاه را تخمین می‌زند. توسعه کانوپی از زمان جوانه زنی تا مقدار ماکزیمم کانوپی از رابطه ۵ شبیه سازی می‌شود:

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

در شرایطی که گیاه تحت شرایط تنش کودی قرار گیرد، ممکن است توسعه گیاه و تولید ماده خشک تحت تاثیر قرار گیرد. تنش کودی به صورت‌های مختلف موجب کاهش محصول و تبخیر و تعرق می‌گردد که شامل: الف) ضریب تنش کودی خاک برای بیشینه توسعه گیاه (K_{sccx} Stress coefficient for maximum canopy cover,)، که نشان دهنده کاهش توسعه تاج گیاه (canopy cover) بر اثر تنش کودی خاک است، ب) ضریب تنش کودی برای گسترش گیاه ($K_{s\exp,f}$ Stress (coefficient for canopy expansion,که نشان دهنده اثر محدودیت کود برکاهش گسترش گیاه است، ج) ضریب تنش کودی برای کاهش بهره‌وری آب (K_{swp} Stress coefficient for biomass water productivity,) که نشان دهنده کاهش تولید ماده خشک گیاه است (*Rase et al., 2012*).محدودیت حاصلخیزی خاک ظرفیت رشد گیاه (CGC, Canopy growth coefficient) را کاهش می‌دهد، همچنین بیشینه رشد گیاه (CCx, Maximum canopy cover) به نیمه فصل می‌رسد. که در این مدل اصلاح ضریب CGC و CCx برای حاصلخیزی خاک با استفاده از روابط ٦و٧ انجام می شود:

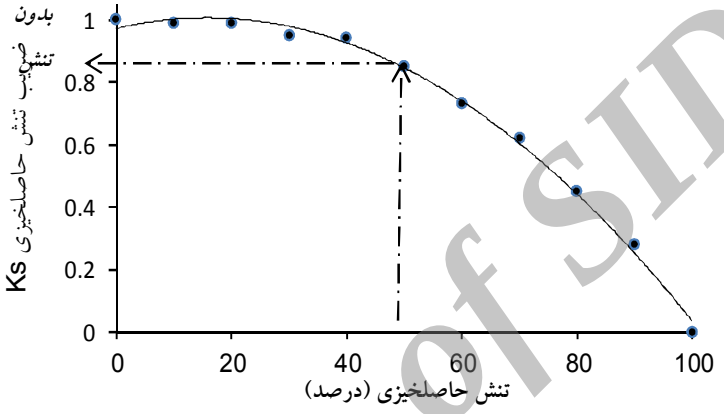
$$CGC_{adj} = Ks_{\exp,f} \times CGC \quad (٦)$$

$$CC_{x,adj} = Ks_{ccx} \times CC_x \quad (٧)$$

Archive of SID

www.SID.ir

که در آن CGC و CCx به ترتیب ضریب رشد تاج گیاه (درصد بر روز) و بیشینه پوشش گیاهی (درصد) برای حالت بدون محدودیت حاصلخیزی است و $Ks_{exp,f}$ و Ks_{CCx} به ترتیب ضریب تنش حاصلخیزی برای گسترش گیاه و توسعه تاج گیاه می‌باشند. در شرایط عدم محدودیت حاصلخیزی خاک ضریب تنش حاصلخیزی خاک برابر یک است. زمانیکه تنش کودی کامل می‌شود (مواد غذایی مورد نیاز برای رشد و بقای گیاه در خاک موجود نباشد)، رشد گیاه برای طولانی مدت ممکن نیست و ضریب Ks به حداقل مقدار تئوری یعنی صفر می‌رسد(*Rase et al., 2012*). حد بالاو پایین برای ضریب Ks برای حاصلخیزی خاک بین یک و صفر است (شکل۲).



شکل۲. منحنی ضریب تنش حاصلخیزی در مقابل ضریب حاصلخیزی خاک (Ks)

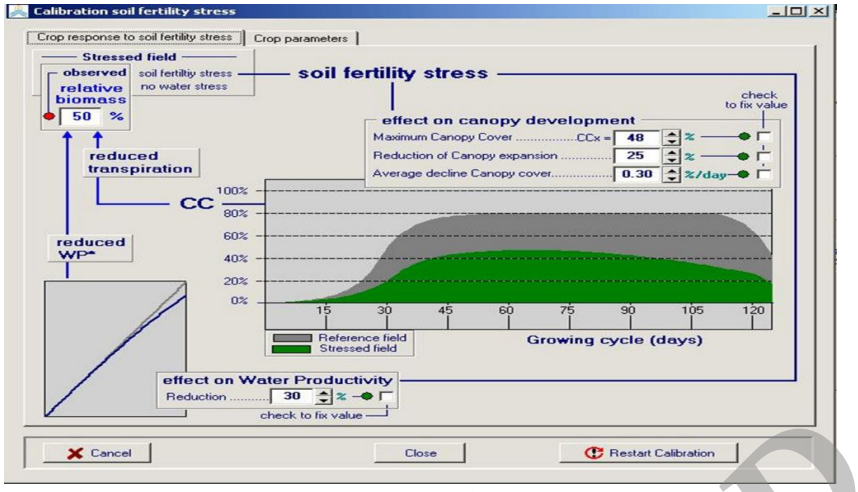
شکل‌منحنی Ks می‌تواند محدب، خطی یا مقعر باشد.شکل‌هر منحنی با واسنجی بوسیله‌ی مقادیر ویژه ی بین صفر و یک $Ks_{exp,f}$ و Ks_{CCx}، برای واسنجی پاسخ گیاه به تنش حاصلخیزی خاک تعیین می‌شود (Rase et al., 2012).

وضعیت کمبود عناصر غذایی خاک باعث کاهش یکنواخت پوشش گیاهی نسبت به بیشینه پوشش گیاهی در نیمه فصل می‌شود (شکل ۳). متوسط کاهش روزانه پوشش کانوپی گیاه با(Stress decline coefficient of the canopy cover) $f_{CDecline}$ (درصد بر روز) بیان می‌شود. با گذشت زمان از ابتدای فصل رشد کاهش کانوپی بیشتر می‌شود. اصلاح پوشش تاج گیاه و شروع زمان پیری گیاه در انتهای فصل رشد (t sen) با استفاده از روابط زیر در مدل AquaCrop شبیه سازی می‌شود (Rase et al., 2012):

$$CC_{adj} = CC_{x,adj} - f_{CDecline}\frac{(t - t_{fullcanopy})^2}{(t_{sen} - t_{fullcanopy})^2} \qquad (۸)$$

که در آن t زمان پس از پوشش کامل گیاه بر حسب روز یا درجه رشد روز (GDD) و $t_{fullcanopy}$ زمان رسیدن به حداکثر رشد گیاه است $t_{fullcanopy}$

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۳. توسعه گیاه برای بدون تنش (رنگ روشن) و با محدودیت تنش کودی (رنگ تیره)

متوسط روزانه کاهش پوشش گیاهی ($f_{CDecline}$) برای رسیدن به ضرایب $Ks_{exp.f}$ و Ks_{CCx} واسنجی می‌شود. در شرایط بدون محدودیت تنش حاصلخیزی خاک، کاهش پوشش گیاهی صفر است. زمانیکه تنش حاصلخیزی کامل شود (۱۰۰درصد تنش حاصلخیزی)، ماکزیمم کاهش برابر یک درصد بر روز فرض می‌شود. بنابراین بین بالاترین و پایین‌ترین حد تنش کودی، $f_{CDecline}$ بین صفر و یک درصد بر روز تغییر می‌کند (Rase *et al.*, 2012). در آخرین نسخه از این مدل، تأثیر آب زیر زمینی و کیفیت آن نیز بر تبخیر–تعرق و عملکرد در نظر گرفته شده است.البته در این تحقیق چون آب زیر زمینی وجود نداشت این مسئله در نظر گرفته نشده است. نتایج تحقیقات بابازاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱) در آنالیز حساسیت مدل AquaCrop نشان داد که مدل فوق نسبت به پارامترهای زمان سبز شدن بذرها، طول زمان گلدهی، مرحله رشد سبزینه‌ای، تقویم کاشت تا حداکثر رشد ریشه، تراکم کاشت و تقویم کاشت تا گل‌دهی حساسیت بسیار کمی دارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات ضریب گیاهی دو جزئی پیش فرض مدل، رشد پوشش تاجی گیاه (CCG)، بهره وری آب نرمال شده (WP)، زمان پرشدن غلاف‌ها، زمان گلدهی و رطوبت خاک بیشتر از بقیه پارامترها است . با توجه به نتایج تحقیقات فوق، برخی از پارامترها که حساسیت بیشتری دارند مورد واسنجی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ٤ آورده شده است. لازم بذکر است که برای صحت سنجی مدل سه تیمار SCLF1، LF0 و SLF2 به صورت تصادفی انتخاب و داده‌های مربوط به بقیه تیمارها در مرحله واسنجی، با هدف ایجاد حداقل اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده توسط مدل با اندازه گیری شده عملکرد گیاهی و تبخیر و تعرق ذرت، مولفه‌های گیاهی ورودی مدل تعیین شد (جدول ٤). سپس بدون تغییر در فایل‌های گیاهی واسنجی شده نهایی، مدل اجرا و مقادیر عملکرد و تبخیر و تعرق حاصل از شبیه سازی با مقادیر اندازه گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول٤. ورودی های گیاهی در واسنجی و ارزیابی کردن مدل

پارامتر	مقدار	روش واسنجی
دمای پایه رشد (C^0)	صفر	پیش فرض
دمای بالا (C^0)	۳۰	پیش فرض
تولید زیست توده برای تیمار SCLF0,SCLF1,SCLF2	۱۰۰، ۸۲، ٦٨	تنظیم شد

Archive of SID

www.SID.ir

تولید زیست توده برای تیمار LF0,LF1,LF2	۸۸، ٦٦، ٥٦	تنظیم شد
تولید زیست توده برای تیمار SLF0,SLF1,SLF2	٤٦، ٤٢، ٣٦	تنظیم شد
نسبت تاج به تعداد گیاه ($cm^2 / plant$)	٦/٥	اندازه گیری شد
محدوده درجه روز رشد	۱۱	تنظیم شد
ضریب رشد پوشش تاجی (%1/d)	۱۸	تنظیم شد
ضریب کاهش پوشش تاجی (%1/d)	۹/۷۰	تنظیم شد
حد بالای تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/٦	تنظیم شد
حد پایین تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه	۰/٦۰	تنظیم شد
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای توسعه پوشش تاجی گیاه	۲/۹۰	تنظیم شد
تخلیه آب خاک برای بسته شدن رروزنه ها	٦	تنظیم شد
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه ها	۰/٦٥	تنظیم شد
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای پیری گیاه	۲/۷۰	تنظیم شد
ضریب گیاهی پایه	۱/۲٥	تنظیم شد
تراکم کشت ($plant / ha$)	٤۱٥۳۸	اندازه گیری شد
پوشش تاج اولیه (٪)	۲۷	تنظیم شد
حداکثر پوشش تاج (٪)	۸٥	تنظیم شد
زمان رسیدن به پوشش بیشینه (d)	٥۲	اندازه گیری شد
زمان گلدهی (d)	۸۰	اندازه گیری شد
طول مرحله گلدهی (d)	۷	اندازه گیری شد
زمان بلوغ (d)	۸۰	اندازه گیری شد
زمان پیری (d)	۹۲	اندازه گیری شد
بیشینه عمق موثر ریشه (cm)	٦٦	تنظیم شد
بهره وری آب در طول شکل گیری محصول ($g.m^2$)	۲٦/۳	تنظیم شد
حد پایین شوری (dS / m)	۲	پیش فرض
حد بالای شوری	۱۲	پیش فرض
ضریب شکل برای تنش شوری	خطی	پیش فرض

شاخص‌های ارزیابی مدل AquaCrop

به منظور ارزیابی مدل AquaCrop پارامترهای میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE)، میانگین ریشه مربعات خطای نرمال شده (nRMSE)، بیشینه خطا (ME) و ضریب باقیمانده (CRM) مورد استفاده قرار گرفتند که به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - Q_i)^2}{n} \right)^{0.5} \quad (۹)$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{M} \quad (۱۰)$$

$$ME = MAX|P_i - Q_i| \quad (۱۱)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Qi} \quad (۱۲)$$

که در آن، P_i مقادیر پیش بینی شده، Q_i مقادیر واقعی، n تعداد نمونه‌ها و M میانگین مقادیر اندازه گیری شده است. از بین پارامترهای آماری ذکر شده RMSE نشان دهنده میزان خطای مدل بوده که هر چه به مقدار صفر نزدیک تر باشد مدل ایده آل تر است. شاخص nRMSE سطح تخمین را نشان می‌دهد. تقسیم بندی

Archive of SID
www.SID.ir

nRMSE توسط Jamieson و همکاران (۱۹۹۱) در جدول ۵ آورده شده است:

جدول۵. تقسیم بندی نتایج شبیه سازی بر اساس nRMSE

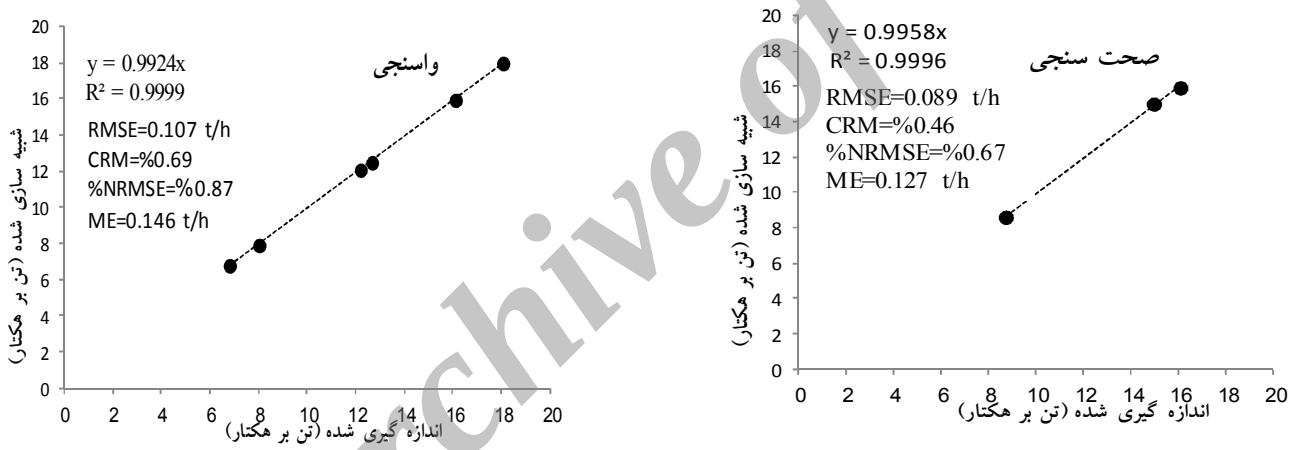
nRMSE	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
نتیجه تخمین	عالی	خوب	متوسط	ضعیف

آماره CRM نشان دهنده کم برآورد یا بیش‌برآوردی مدل است که مثبت بودن آن نشان کم برآورد و منفی بودن آن نشان بیش برآورد مدل است و هر چه مقدار آن بزرگ‌تر از صفر باشد مقدار این بیش برآورد یا کم برآورد بیش‌تر خواهد بود (Singh *et al.*, 2008).

نتایج و بحث

عملکرد محصول

شکل ٤ نتایج مربوط به شبیه سازی مدل برای عملکرد محصول در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای وزن تر اندام هوایی ذرت را نشان می‌دهد.



شکل٤. مقایسه وزن تر ذرت علوفه‌ای اندازه گیری و شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

نتایج شکل ٤ نشان می‌دهد که RMSE در مرحله واسنجی و صحت سنجی به ترتیب برابر ۰/۱۱ و ۰/۰۹ تن بر هکتار و شاخص nRMSE به ترتیب برابر ۰/۸۷٪ و ۰/٦۷٪ است که نشان دهنده توانا بودن مدل AquaCrop برای شبیه سازی عملکرد وزن تر اندام هوایی ذرت در منطقه مورد مطالعه است (بر اساس طبقه بندی Jamieson و همکاران (۱۹۹۱)). همچنین همبستگی خوبی بین مقادیر شبیه سازی با مشاهداتی عملکرد محصول وجود دارد (R^2 تقریبا یک). مثبت شدن مقدار CRM و همچنین کوچکتر از یک بودن شیب خط نشان دهنده کم برآورد مدل در شبیه سازی عملکرد محصول است که البته مقدار این کم برآورد ناچیز (۰/٦۹٪ و ۰/٤٦٪ تن بر هکتار) است. Arrya و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی در اتیوپی به منظور ارزیابی مدل AquaCrop برای گیاه جو در شرایط متفاوت کم آبیاری و در تاریخ کاشت مختلف (طی سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹)، مدل را واسنجی و صحت سنجی نمودند. مقدار RMSE برای وزن اندام هوایی جو ۰/۲ تا ۰/٦۹ تن بر هکتار گزارش گردید. نتایج تحقیقات Zhang و همکاران (۲۰۱۳) بر روی گندم زمستانه در جنوب چین نشان داد که مدل AquaCrop وزن اندام هوایی، وزن دانه و رطوبت خاک را به خوبی شبیه سازی کرد. برای وزن اندام هوایی گندم و وزن دانه مقدار

Archive of SID
www.SID.ir

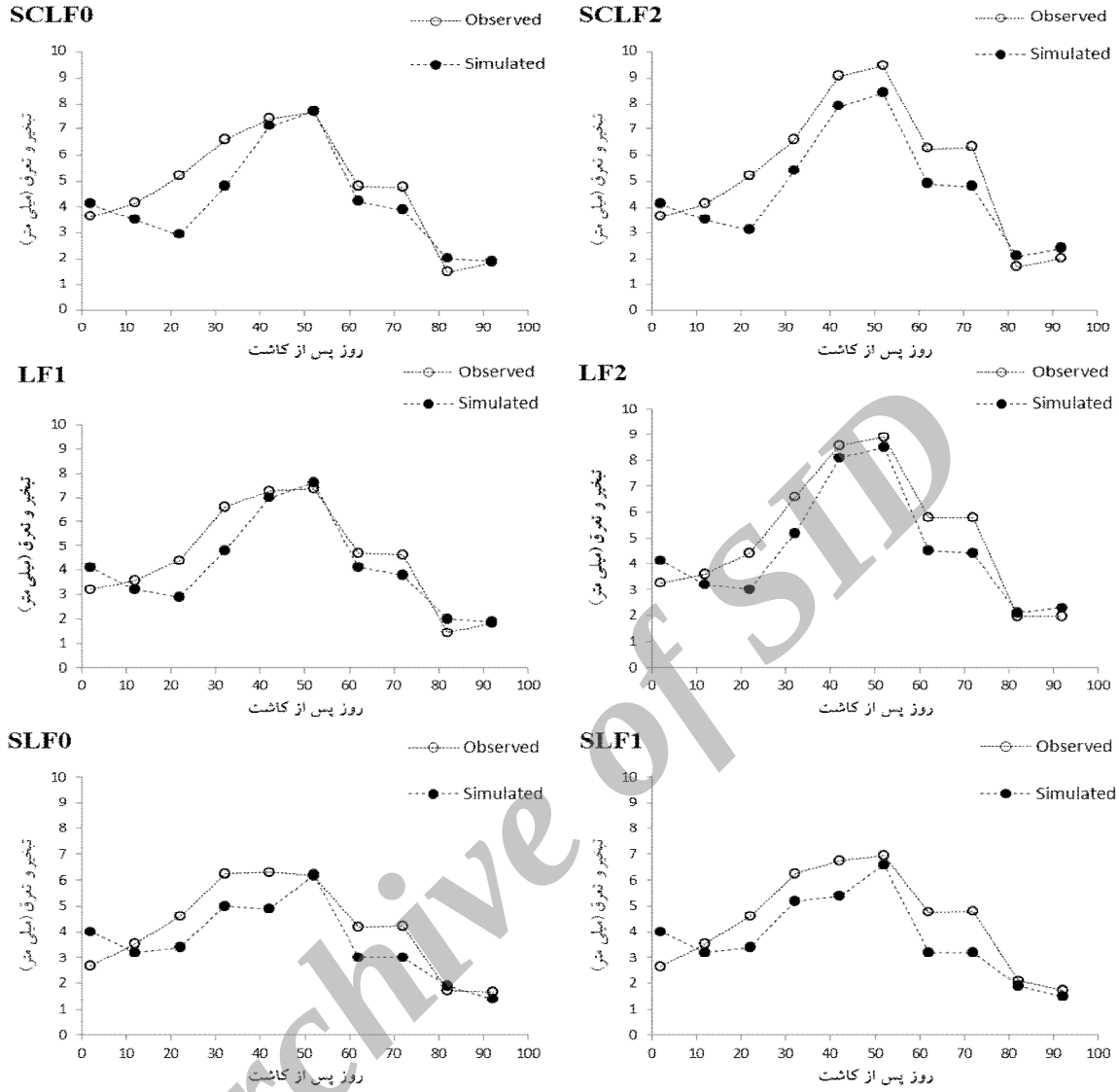
RMSE به ترتیب در محدوده ۰/۳۸-۰/۱۶ و ۱/٤٤-۰/۵ تن بر هکتار گزارش کردند. در پژوهش دیگری مقدار RMSE در شبیه سازی وزن زیست توده ذرت در منطقه دهلی هند ۰/۲۹ تا ۰/٤۲ تن بر هکتار و ضریب تبیین ۰/۹ تا ۰/۹۱ گزارش گردید (Stricevic *et al.,* 2014).

تبخیر و تعرق ذرت علوفه ای در طول دوره رشد واسنجی مدل

همانطور که قبلا بیان شد برای بررسی کارآیی مدل در بافت‌ها و حاصلخیزی‌های مختلف خاک در مرحله صحت سنجی ترکیب مختلفی از بافت و حاصلخیزی خاک (SCLF1، LF0 و SLF2) به صورت تصادفی انتخاب گردید و با داده‌های بقیه تیمارها ابتدا واسنجی انجام و سپس بدون تغییر در پارامترهای گیاهی ورودی مدل، با اجرای مدل برای تیمارهای صحت سنجی مدل ارزیابی گردید. لازم بذکر است که واسنجی پارامترها با در نظر گرفتن توأمان حداقل اختلاف در عملکرد و تبخیر و تعرق انجام شد. تبخیر و تعرق واقعی ذرت با استفاده از روش بیلان حجمی‌آب خاک اندازه گیری و تبخیر و تعرق شبیه سازی شده توسط مدل AquaCrop در شکل ۵ نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. تبخیر و تعرق اندازه گیری و شبیه سازی شده ذرت در طول فصل رشد در مرحله واسنجی مدل

نتایج واسنجی تبخیر و تعرق ذرت در تیمارهای مختلف بافت و حاصلخیزی خاک نشان داد که مدل میزان تبخیر و تعرق در ابتدای رشد (روز دوم رشد) را بیشتر از مقدار واقعی پیش بینی نموده است. در آبیاری اولبیشتر منافذ درشت خاک از آب پر می شوند بنابراین بیشتر آب داده شده به خاک به صورت نفوذ عمقی بوده و میزان تبخیر از سطح خاک کمتر از آبیاری دوم می باشد. علت این خطای مدل می‌تواند در نظر نگرفتن این وضعیت در معادلات بیلان آب خاک به کار گرفته باشد. با رشد گیاه مشاهده می‌شود که تبخیر و تعرق پیش بینی شده مدل تا ابتدای مرحله پایانی کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. البته در زمان بیشینه تبخیر و تعرق مقدار پیش بینی و اندازه گیری شده به هم نزدیک شده است. در مرحله پایانی رشد میزان تبخیر و تعرق اندازه گیری و شبیه سازی شده به هم نزدیک می‌شود. مقایسه اثر افزودن کود بر تبخیر و تعرق ذرت در بافت‌های مختلف خاک نشان می‌دهد که افزودن کود موجب افزایش تبخیر و تعرق ذرت به خصوص در مرحله میانی رشد می‌شود. مدل AquaCrop نیز روندی مشابه مقادیر اندازه گیری شده را نشان می‌دهد (شکل ۵). مقایسه نمودار شکل‌های تبخیر و تعرق ذرت در بافتهای مختلف خاک نشان می‌دهد که میزان تبخیر و تعرق ذرت در خاک لوم رسی سیلتی و

Archive of SID
www.SID.ir

خاک لوم بیشتر از خاک لومی شنی است. که علت آن حاصلخیزی بیشتر این خاک‌ها نسبت به خاک لومی‌شنی است (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار RMSE به ترتیب در تیمارهای SCLF2 و LF1 (برابر ۱/۱۶ و ۰/۸۸ میلی متر) نشان می‌دهد که مدل AquaCrop از کارآیی نسبتا خوبی در شبیه سازی تبخیر و تعرق برخوردار است (جدول ٦). مقدار خطای نرمال شده مدل در جدول ٦ در محدوده ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ درصد قرار دارد که نشان دهنده کارآیی خوب و متوسط مدل است (جدول ۵). کمترین مقدار NRMSE در تیمار LF2 و برابر ۱۸/۷ درصد بدست آمد. مثبت بودن شاخص CRM نشانگر کم برآورد مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق ذرت است. علت کم برآورد مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق مربوط به ضعف در معادلات بیلان آب خاک در مدل، برآورد ضرایب گیاهی در مدل دانست. ضریب تبیین در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که همبستگی نسبتا خوبی بین مقادیر پیش بینی شده با مقادیر شبیه سازی شده وجود دارد. کمترین میزان همبستگی (۰/۷۲) در تیمار SLF0 و بیشترین مقدار آن (۰/۸۹۱) در تیمار LF2 حاصل گردید. بیشترین مقدار بیشینه خطای مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق در تیمار SCLF0 (۲۲ روز پس از کشت) بود که از کمترین مقدار بیشینه خطای مدل در تیمار SLF0، ٤٨ درصد بیشتر شد. شیب خط بین مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده تبخیر و تعرق نیز بیانگر کم برآورد مدل در شبیه سازی است (جدول ٦).

جدول ٦. مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه سازی تبخیر و تعرق ذرت در تیمارهای مختلف حاصلخیزی و بافت خاک در مرحله واسنجی

تیمارها	RMSE(mm)	٪NRMSE	٪CRM	R2	ME (mm)	m* (شیب خط)
SCLF0	۱/۰۳	۲۱/۷	۱۱/٤	۰/۸۰٤	۲/۳۰	۰/۸۷۷
SCLF2	۱/۱٦	۲۱/۳	۱۵/۵	۰/۸۹۳	۲/۱۰	۰/۸٤۱
SLF0	۰/۹۹	۲۳/۹	۱۲/۸	۰/۷۲۳	۱/٤۰	۰/۸۵۱
SLF1	۱/۰۷	۲٤/۲	۱٤/۸	۰/۷٦۱	۱/٦۰	۰/۹۳۷
LF1	۰/۸۸	۱۹/٦	۸/۱	۰/۸۲۷	۱/۷۹	۰/۹۰٦
LF2	۰/۹۵	۱۸/۷	۱۰/۸	۰/۸۹۱	۱/٤۲	۰/۸۸۳

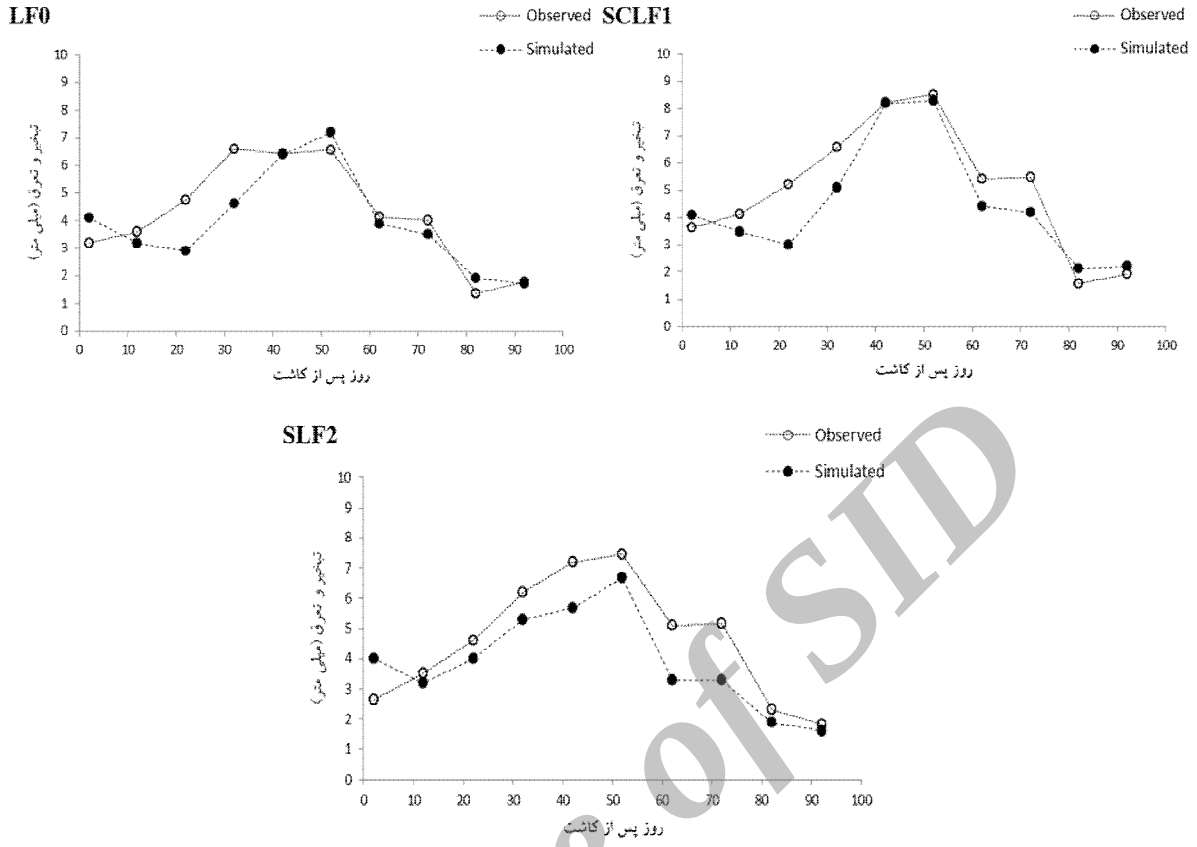
*خط برازش بین مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده (Y=m*X) که در آن X مقدار اندازه گیری شده و Y مقدار شبیه سازی شده است.

صحت‌سنجی مدل

همانطور که بیان شد تیمارهای SCLF1، LF0 و SLF2 برای صحت سنجی مدل انتخاب شدند تا تمام بافت‌ها و سطوح حاصلخیزی خاک در صحت سنجی مدل در نظر گرفته شوند. شکل ٦ مقادیر تبخیر و تعرق اندازه گیری و شبیه سازی شده توسط مدل (بعد از ثابت کردن پارامترهای گیاهی در مرحله واسنجی و اجرای مدل) را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٦. تبخیر و تعرق اندازه گیری و شبیه سازی شده ذرت در طول فصل رشد در مرحله صحت سنجی

نمودارهای شکل ٦ همانند شکل ۵ نشان می‌دهد که تبخیر و تعرق شبیه سازی شده در اولین روزهای رشد بیش تر از تبخیر و تعرق اندازه گیری شده است ولی بعد از آن میزان تبخیر و تعرق شبیه سای شده کمتر و در انتهای فصل رشد بیش‌تر است. مدل AquaCrop حداکثر تبخیر و تعرق ذرت برای تیمارهای SCLF1، LF0 و SLF2 را به ترتیب برابر ۸/۳، ۷/۲ و ٦/۷ میلی متر و ۵۲ روز پس از کاشت برآورد نموده است. مقادیر اندازه گیری شده حداکثر تبخیر و تعرق برای این تیمارها به ترتیب برابر ۸/۵، ٦/٦ و ۷/۵ میلی متر در روز ۵۲ ام بدست آمده است. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که دقت مدل در برآورد حداکثر تبخیر و تعرق در بافت‌ها و حاصلخیزی‌های مختلف خاک متفاوت است. جدول ۷ مقادیر مشخصه‌های آماری در ارزیابی مدل AquaCrop برای مرحله صحت سنجی را نشان می‌دهد.

جدول ۷. مقادیر شاخص های آماری ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه سازی تبخیر و تعرق ذرت در تیمارهای مختلف حاصلخیزی و بافت خاک در مرحله صحت سنجی

تیمار	RMSE(mm)	%nRMSE	%CRM	R2	ME (mm)	*شیب خط
SCLF1	۱/۰٤	۲۰/۵	۱۱/۰	۰/۸۵	۲/۲	۰/۸۸۵
SLF2	۱/٤۲	۲٤/۷	۱۵/۵	۰/۷٦	۱/۹	۰/۸۲۷
LF0	۰/۹۷	۲۲/۹	۱۷/۲	۰/۷۳	۲/۰	۰/۹۱۰

*خط برازش بین مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده (Y=m*X) که در آن X مقدار اندازه گیری شده و Y مقدار شبیه سازی شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار میانگین ریشه مربعات خطا در تیمار SLF2 و برابر ۱/۴۲ میلی متر حاصل گردید. مقدارشاخص nRMSE در تیمارهای مختلف جدول ۷ بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است که نشان دهنده کارآیی متوسط مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق است (Jamieson و همکاران، ۱۹۹۱). مثبت بودن شاخص CRM و کوچکتر از یک بودن شیب خط برازش بین تبخیر و تعرق اندازه گیری و شبیه سازی شده نشان می‌دهد که مدل همانند مرحله واسنجی در پیش بینی تبخیر و تعرق تمایل به کم برآورد دارد که بیشترین مقدار کم برآورد در تیمار LF0 و برابر ۱۷/۲ درصد شد. شاخص ضریب تبیین بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۵ است که همبستگی نسبتا خوبی بین مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده وجود دارد. نبیشینه خطای مدل (ME) در تیمارهای SLF2، LF0 و SCLF1 به ترتیب برابر ۱/۹، ۲/۰ و ۲/۲ میلی متر و در روزهای ۷۲، ۳۲ و ۲۲ اماز فصل رشد است. Abi Saab و همکاران (۲۰۱٤) مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای مدل AquaCrop در شبیه سازی تبخیر و تعرق گیاه سویا و آفتاب گردان در لبنان را به ترتیب برابر ۱۳/٦٤ و ۲٦/۹٦ میلی متر گزارش نمودند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop در پیش بینی تبخیر و تعرق کم برآورد دارد. همچنین Anjum Iqbal و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند که مدل AquaCrop در پیش بینی تبخیر و تعرق گندم زمستانه در جنوب چین کم برآورد دارد. مقدار RMSE و nRMSE مدل برای مجموع تبخیر و تعرق گندم به ترتیب برابر ۳۳/۲ میلی متر و نه درصد گزارش گردید (Anjum Iqbal et al., 2014).

نتایج مدل در مرحله واسنجی و صحت سنجی برای شبیه سازی تبخیر و تعرق ذرت نشان می‌دهد که مدل از کارآیی متوسطی در این زمینه برخوردار است. مقایسه شاخص‌های آماری جدول ٦ و ۷ برای بافت‌های مختلف خاک نشان می‌دهد که کارآیی مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق ذرت در خاک لوم بهتر از دو بافت لوم رسی سیلتی و لومی‌شنی است به طوریکه کمترین مقدار nRMSE برابر ۱۸/۷ درصد در تیمار LF2 حاصل گردید. البته با افزودن کود به خاک کارآیی مدل تغییر می‌کند ولی در همه تیمارها در سطح کود یکسان کارآیی مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق در خاک لوم بهتر از دو نوع خاک دیگر است. علت این امر را می‌توان در این نکته دانست که در اغلب روابط آب و خاک ساده سازی‌ها با در نظر گرفتن یک خاک متوسط در نظر گرفته می‌شود. مقایسه اثر افزودن کود به خاک بر دقت شبیه سازی مدل AquaCrop روند یکسانی را در بافت‌های مختلف خاک نشان نمی‌دهد (جدول ٦ و ۷). در خاک لوم با افزودن یک و دو درصد کود به خاک مقدار آماره nRMSE از مقدار ۲۲/۹ درصد در تیمار LF0 به مقدار ۱۸/۷ درصد در تیمار LF2 کاهش یافته است که نشان می‌دهد که کارآیی مدل با اعمال تنش حاصلخیزی کاهش می‌یابد. در این تیمارها ضریب تبیین از ۰/۷۳ به ۰/۸۹ و بیشینه خطا از دو میلی متر به ۱/٤ میلی‌متر کاهش یافته است. در خاک لومی شنی با افزودن کود به خاک مقدار آماره nRMSE از مقدار ۲۳/۹ درصد در تیمار SLF0 به ۲٤/۷ درصد در تیمار SLF2 و مقدار بیشنه خطا از ۱/٤ میلی متر به ۱/۹ میلی متر افزایش یافته است. در واقع کارآیی مدل با افزودن کود کاهش یافته است. با توجه به اینکه در خاک‌های سبک میزان آبشویی املاح و مواد غذایی بیشتر از خاک‌های متوسط و سنگین بافت است. علت این امر را می‌توان آبشویی در این خاک دانست که احتمالا روابط پایه‌ی مدل AquaCrop در این زمینه ضعف‌هایی دارد. مقدار nRMSE در تیمارهای SCLF0، SCLF1 و SCLF2 به ترتیب برابر ۲۱/۷، ۲۰/۵ و ۲۱/۳ درصد و مقدار ضریب تبیین برای این تیمارها ۰/۸۰٤، ۰/۸٤۵ و ۰/۸۹۳ و مقدار ME برابر ۲/۳، ۲/۲ و ۲/۱ میلی‌متر شد که نشان می‌دهد میانگین خطای نرمال شده با افزودن کود روند مشخصی نداشته ولی ضریب تبیین و بیشینه خطا با تنش

Archive of SID

www.SID.ir

حاصلخیزی کاهش می‌یابد. بنابراین در خاک لوم و لوم رسی سیلتی با افزایش تنش حاصلخیزی میزان خطا کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات Stricevic و همکاران (۲۰۱٤) به منظور ارزیابی مدل AquaCrop در شرایط کم آبیاری و افزودن کود نیتروژن بر عملکرد ذرت و بهره‌وری آب نشان داد که این مدل از دقت خوبی در برآورد مقدار زیست توده و وزن دانه ذرت برخوردار است (میانگین ریشه مربعات خطا در این تحقیق ۰/۲۹ تا ۰/٤۲ تن بر هکتار و ضریب تبیین ۰/۹ تا ۰/۹۱). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که دقت مدل با افزایش سطح تنش کاهش می‌یابد به طوریکه کمترین دقت در تیمار بدون افزودن کود و تیمار حداکثر کم آبیاری حاصل شد. میزان خطای مدل AquaCrop در شبیه سازی بهره وری آب ۲/۳۵ تا ۲۷/۵ درصد بود (Stricevic et al., 2014).

نتیجه‌گیری

با استفاده از مدل‌های گیاهی می‌توان بدون صرف وقت، هزینه و انرژی زیاد مدیریت مصرف آب و تولید بیشتر را با پذیرفتن خطای کم انجام داد. نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل AquaCrop در شبیه سازی وزن تر اندام هوایی ذرت در تیمارهای مختلف بافت و حاصلخیزی خاک نشان داد که خطای مدل فوق ناچیز و مدل در این زمینه ایده آل (RMSE کمتر از یک درصد) بود. همچنین همبستگی خوبی بین عملکرد پیش بینی شده ذرت با مقادیر اندازه گیری شده وجود داشت (ضریب تبیین تقریبا یک). با این حال مدل در شبیه سازی میزان تبخیر و تعرق ذرت کارآیی ایده‌آل نداشت. مقدار میانگین خطای نرمال شده مدل در محدوده ۱۰-۳۰ درصد بود که نشان می‌دهد مدل AquaCrop در شبیه سازی تبخیر و تعرق ذرت خوب و متوسط عمل می‌کند. همچنین مثبت شدن شاخص CRM نشان می‌دهد که مدل در پیش بینی تبخیر و تعرق ذرت تمایل به کم برآورد دارد. خطای مدل در بافت‌ها و سطوح مختلف حاصلخیزی خاک متفاوت بود. کمترین مقدار میانگین خطای نرمال شده مدل در تیمار LF2 (۱۸/۷ درصد) بدست آمد.. با توجه به اینکه تبخیر و تعرق جزئی از معادله بیلان حجمی آب خاک است، ضعف مدل در نظر نگرفتن انتشار آبی، جذب و تخریب املاح (که آبشویی و اتلاف کود در خاک لوم شنی بیشتر از دو نوع خاک دیگر است) می تواند علت خطای بیشتر مدل در شبیه سازی تبخیر و تعرق در این خاک باشد.

فهرست منابع

امیری م. ۱۳۸۷. تعیین ضریب گیاهی خیار، گوجه و فلفل در گلخانه. گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد. ۱٤٦ صفحه.

رحیم زادگان ر. ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق درمنطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران. ۲۲ (۱و۲): ۱-۱۰.

بابازاده، ح و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲٦ (۲): ۳۲۹-۳۳۹.

علیزاده، ح؛ نظری، ب؛ پارسی نژاد، م؛ رمضانی اعتدالی، ه وجانباز، ح.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه کرج. آبیاری و زهکشی ایران، ۲(٤): ۲۷۳-۲۸۳.

اروانه ح و عباسی، ف . ۱۳۹۳. واسنجی و صحت سنجی مدل AquaCrop کلزار برای شرایط مزرعه، مجله پژوهش آب ایران، سال هشتم، ۱٤: ۹-۱۷.

قربانیان، م. ۱۳۹۲. اثر حاصلخیزی و تراکم خاک بر مقدار ضریب گیاهی ذرت علوفه ای. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۳۷ صفحه.

Abi Saab M.T., Albirizio R., Nangia V., Karam F and Rouphael Y. (2014). Deeloping scenarios to

Archive of SID

www.SID.ir

Raes D. Steduto P. Hsiao TC and Freres E. 2012. Refrence manual AquaCrop, FAo, land and water division, rome Italy.

Russo D and Bakker D. 1986. Crop water production function for sweet corn and cotton irrigated and saline water. Soil science societyand American journal. 51, 1554-1562.

Sepaskhah AR, Bazafshan AR and Shirmohammadi-Aliakbbarian Z. 2006. Development and evaluation of model for yield production of wheat, maize and sugarbeet under water and salt stresses. Biosystems enginerring. 93(2): 139-152.

Stockle CO, Matrin SA and Campbell GS. 1994. Crop syst, acroping system simulation moel: water/ nitrogen budget crop yield. Agricultural systems. 46:335-359.

Stricevic R. Dzeletovic Z, Djurovic N and Cosic M. 2014. Global change biology bioenergy.doi 10.111/gcbb. 12206.

Singh AK, Tripathy R and Chopra UK. 2008. Evaluation of CERESWheat and CropSyst models for water-Nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural Water Management, 95:776–786.

Todorovic M. Albrizio R. Zivotic L. Abi saab. Stockle C and steduto P. 2009. Asswssment of AquaCrop, cropsyst, and wofost models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy Journal. 101: 509-521.

Zhang W, Liu W, Xue Q, Chen J and Han X. 2013. Evaluation of the AquaCropmodel for simulation yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China.water science & technology.68 (4): 821-829.

assess sunflower and aoybean yield under different sowing dates and water regimes in the bekaa valley (lebanon): simulation with AquaCrop. International Journal of plant production: 8(4): 457-482.

Anjum Iqbal, M., Shen Y., Stricevic R., Pei H., Sun H., Amiri E., Penas A and Rio S. (2014). Evaluation of the FAO AquaCropmodel for winter wheat on the north china plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. Agricaultural Water Management. 135 61-72.

Arrya A. kesstra A. D. and Stroonsnijder L. 2009. Simulation yield response to water of Teff (Eragrosit tef) with FAOs AquaCropmodel. Field crop research. 116:196-204.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration.Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation Drainage Paper No. 56, FAO. Rome, Italy. pp 1-326.

Heng L.K., Hsiao T.C., Evett S., Howell T., and Steduto P. 2009. Validating the FAO AquaCropModel for Irrigated and Water Deficient Field Maize Agron. J. 101: 488–498.

Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat cropsgrown in New Zealand. Field Crops Res.27,337-350

Kroes JG and Van Dam JC. 2008. Refrence manual SWAP version 3.2. Alterra green world Research. Wagennigen. Report 1649. Avaiabel at: http://www.swap. Alterra.nl.

Archive of SID

www.SID.ir

ISSN 2251-7480

Simulation of yield and evapotranpiration of forage maize using AquaCrop model

Mohammad Ghorbanian Kourd Abadi [1], Abdol Majid Liaghat[2*], Ebrahim Vatankhah[3], and Hamideh Noory[4]

1) Ph.D student, Dept. of Irrigation & Reclamation Eng. Faculty of Agriculture Engineering &Technology University of Tehran
2*) Professor, Dept. of Irrigation & Reclamation Eng. Faculty of Agriculture Engineering &Technology University of Tehran. *Corresponding author email: aliaghat@ut.ac.ir
3) M.Sc. Student, , Dept. of Irrigation & Reclamation Eng. Faculty of Agriculture Engineering &Technology University of Tehran
4) Assistant Professor, Dept. of Irrigation & Reclamation Eng. Faculty of Agriculture Engineering &Technology University of Tehran

Received: 24-12-2014 Accepted: 15-06-2015

Abstract

Crop models such as AquaCrop can be a useful tool for better management of water consumption. However, these models should be evaluated before applying. In this study, the accuracy of the AquaCrop model in estimating shoot fresh weight and evapotranspiration of Maize in different soil fertilities and soil textures was evaluated. Field experiments were done as a factorial experiment in a completely randomized design with three soil texture treatments (including silty clay loam, loam and sandy loam) and three levels of soil fertility (including without added fertilizer, adding one and two percent of the fertilizer into the soil). The study was conducted in summer of 2012 in Jey and Qahab region in Isfahan. Results of this study showed that prediction of the model for shoot fresh weight of fodder maize was extremely efficient. The normalized root mean square errors (nRMSE) of the shoot fresh weight of fodder maize for calibration and validation stages were obtained as 0.87% and 0.67%, respectively. Predicting maize evapotranspiration during the growing season by the model had a higher error rate. Maximum and minimum of the root mean square error was obtained in the sandy loam soil with the addition of two percent of the fertilizer treatments (SLF2) and loam soil by adding one percentage of the fertilizer (LF1) with values of 0.88 and 1.42 mm per day, respectively. Results of this study showed that the mean values of RMSE and nRMSE in simulating maize evapotranspiration for sandy loam soil were 1.16 mm and 24.3% that were more than mean values of RMSE and nRMSE for silty clay loam soil type and loam which were 1.08 mm, 26.2% and 0.93 mm, 20.4%, respectively. However, the model accuracy in predicting maize evapotranspiration was varied at different levels of soil fertility depending on soil types so that the maximum value of RMSE in the loam soil was obtained in treatment without fertilizer (LF0) and in sandy loam soils in treatment with two percent fertilizer (SLF2).

.

Keywords: calibration and validation, crop models, management of water consumption, water requirment

Archive of SID

www.SID.ir