Archive of SID

شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد گندم با مدل AquaCrop در شرایط مزرعه‌ای دشت نیشابور

میثم عابدین پور[1] *، هادی دهقان، مهدی مکاری باغخیراتی و هادی معماریان خلیل آباد

استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.
abedinpour_meysam@yahoo.com
استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.
dehghan63.ha@gmail.com
استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.
mehdimokari@gmail.com
دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
hadi_memarian@yahoo.com

چکیده

این تحقیق به منظور شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه‌ای، پیش‌بینی رطوبت در نیمرخ خاک، و هم چنین عملکرد دانه در مزارع تحت آبیاری گندم در دشت نیشابور انجام شد. در این راستا، تعداد سه مزرعه در نقاط مختلف دشت انتخاب گردید. داده‌های ورودی مدل AquaCrop شامل پارامتر های هوا، خاک، گیاه و عملیات زراعی در هر کدام از مزارع جداگانه جمع‌آوری گردید و سپس اطلاعات مورد نیاز مدل و ویژگی‌های زراعی گندم واسنجی شد. اندازه گیری رطوبت خاک مزارع از سه عمق (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و۹۰-۶۰) سانتی متر و در پنج نوبت در فصل زراعی انجام شد. برای ارزیابی کارآیی مدل از آماره‌های متوسط خطای ریشهٔ میانگین مربعات (RMSE)، کارآیی مدل (EF) و خطای برآورد (P_e) استفاده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی رطوبت در نیمرخ خاک نشان داد که مدل مزبور مقدار رطوبت را در عمق‌ها و زمان‌های مختلف به خوبی شبیه سازی می‌کند. نتایج تحقیق نشان داد که آماره های ارزیابی کارآیی مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی رطوبت خاک در همه مزارع به‌ترتیب ۰/۰۲۷<RMSE<۰/۰۳۲، ۰/۸۰<EF<۰/۹۱ و ۳/۵<P_e<۱۴ درصد بود. این مقادیر در مرحله اعتبارسنجی مدل ۰/۰۲۵<RMSE<۰/۰۳۱، ۰/۸۲<EF<۰/۹۴ و ۲/۷<P_e<۱۲ درصد حاصل گردید. حداقل وحداکثر درصد خطای شبیه سازی مدل برای عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در همه مزارع تحت مدیریت کشاورز به ترتیب ۸/۸٪-۴٪ و ۹٪-۴/۶٪ بود. با توجه به نتایج تحقیق، مدل AquaCrop قادر است میزان رطوبت خاک، عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب را در شرایط مشابه این مزارع با دقت قابل قبولی شبیه سازی نماید.

واژه‌های کلیدی: گندم آبی، زی توده، کارآیی مصرف آب

---

[1]- آدرس نویسنده مسئول: کاشمر، گروه مهندسی آب مرکز آموزش عالی کاشمر

*- دریافت: مهر ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رشد روزافزون تکنولوژی درجهت افزایش بهره-وری نهاده‌ها وصر فه‌جویی در زمان و انرژی، استفاده از مدل‌های مختلف شبیه‌سازی رشد گیاهان، عملکرد، بیلان آب و خاک و انتقال املاح را اجتناب ناپذیر نموده است. هدف اصلی ایجاد و گسترش مدل‌های شبیه سازی گیاهی، کاربرد آن به‌عنوان ابزاری تحلیلی برای مطالعهٔ اثر مدیریت سیستم‌های کشت بر عملکرد محصول است. در بین انواع مدل‌های پرکاربرد در کشاورزی، مدل AquaCrop یکی از مدل‌های برآورد کارآیی مصرف آب و عملکرد است که در سال ۲۰۰۹ توسط فائو منتشر و توسعه یافته است. این مدل می‌تواند در محدودهٔ وسیعی از محصولات زراعی، محصولات علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه‌ها و دانه‌های روغنی و محصولات غده‌ای به کار گرفته شود. تاکنون اکثر تحقیقات صورت گرفته با مدل فوق، عمدتاً برای شبیه-سازی عملکرد محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آب و کود می باشند (استودیوتو و همکاران، ۲۰۰۹). دراین راستا، علیزاده و همکاران در سال ۱۳۸۹ به منظور ارزیابی کارآیی مدل AquaCrop بر عملکرد محصول گندم، مطالعه‌ای در منطقهٔ کرج انجام دادند. نتایج نشان داد که در دور آبیاری ۷ روز، دقت مدل در پیش‌بینی مقدار عملکرد دانه، تبخیر و تعرق و کارآیی مصرف آب قابل قبول بود، درحالی که کارآیی و دقت مدل در پیش‌بینی پارامترهای فوق در دور آبیاری ١٤ روز کمتر بود. همچنین به‌منظور بررسی کارآیی مدل AquaCrop بر عملکرد گندم زمستانه، مطالعه‌ای ٤ ساله در دشت شمالی چین در ایستگاه لانچنگ در سال های ۲۰۰۱-۱۹۹۸ تحت کم آبیاری انجام گرفت. اعتبار سنجی مدل با در نظر گرفتن شرایط واقعی مزرعه در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ انجام شد. به طور کلی دراعتبارسنجی مدل، ریشهٔ میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار، زی توده ۰/۸۷ تن در هکتار، تبخیر و تعرق واقعی ۳۲/۲ میلی متر بود. نتایج کلی براساس اعتبار سازی نشان داد که مدل AquaCrop مدلی معتبر و مناسب برای بهینه‌سازی تولید عملکرد دانهٔ گندم زمستانه و نیاز آبی در دشت شمالی چین است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، نتایج مطالعات مختلف ارزیابی مدل AquaCrop بر شبیه‌سازی عملکرد محصولات مختلف گندم، ذرت، سویا، پنبه در نقاط مختلف دنیا و اقلیم های مختلف نیز حاکی از دقت قابل مدل دارد (عابدین پور ۲۰۱۹، آدبایو ۲۰۱٤ و آنجوم اقبال ۲۰۱۲). همچنین، امیری و همکاران (۱۳۹٤) بر اساس تحقیق دو ساله مزرعه‌ای، به ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد گندم تحت تنش آبی پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی زی‌توده محصول و عملکرد دانه گندم بود. سما و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه سازی عملکرد دانه، زی توده و رطوبت خاک در منطقه توسعه ریشه گندم تحت مقادیر مختلف آب آبیاری در منطقه آنتالیا-ترکیه پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل AquaCropتوانست با دقت قابل قبولی میزان رطوبت خاک، عملکرد دانه و زی توده گندم را شبیه سازی نماید. همچنین، آن ها نتیجه گرفتند که AquaCrop می‌تواند به عنوان یک مدل مناسب برای تصمیم گیری در مورد برنامه ریزی آبیاری در مناطق با محدودیت منابع آب پیشنهاد شود. در تحقیقی دیگر، دقت مدلAquaCrop درشبیه سازی میزان تبخیر و تعرق (ET)، رطوبت خاک (SWC) و عملکرد دانه گندم(Gy) در منطقه تنسیفت مراکش مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج تحقیق مدل توانست با دقت قابل قبولی مقادیر ET, SWC وGy را شبیه سازی نماید (تامی و همکاران ۲۰۱٦). همچنین، بر اساس نتایج آزمایشی که در ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد دانه و زی توده دو رقم گندم، تحت تنش آبی، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی فارس (زرقان)، انجام شد، نشان از دقت قابل قبول مدل در شبیه سازی مقادیر عملکرد دانه و زی توده گندم داشت. بطوری که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مقادیر پیش بینی عملکرد دانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای ارقام چمران و شیراز به ترتیب در محدوده ۰/۵ تا ۲ و ۲ تا ۹ درصد و

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده پیش بینی زی توده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای ارقام چمران و شیراز به ترتیب در محدوده دو تا پنج و سه تا شش درصد محاسبه گردید (امیری و همکاران، ۱۳۹٤). نتایج نشان داد که مدل AquaCrop در پیش –بینی عملکرد دانه و بیوماس محصول، دارای دقت قابل قبول هست .نتایج گزارش شده توسط سعادتی و همکاران (۱۳۹۷) نیز مبین عملکرد خوب مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت رژیم های مختلف آبیاری بود. نتایج کلی مطالعه ای نشان داد که AquaCrop یک مدل معتبر است و می‌تواند با درجه قابل اعتمادی از دقت برای بهینه‌سازی تولید کلزای بهاره، تخمین رطوبت خاک و نیاز آبی جهت افزایش کارآیی آب آبیاری در منطقه کرکج تبریز استفاده شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۸).

کمبود منابع آب و عدم مدیریت صحیح منابع آب قابل دسترس، بحران آبی را ایجاد کرده است که وقوع خشکسالی‌های پی در پی باعث تشدید آن می‌گردد و دارای ابعاد مختلف زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی است. در این میان مخزن دشت نیشابور دارای کسری مخزنی در حدود ۲۰۰ میلیون متر مکعب است و مناطق دارای پتانسیل بحران متوسط تا شدید حدود ۵۰ درصد از پوشش دشت را دارا است که با توجه به کاربری اراضی موجود، می-بایست تغییر و اصلاح الگوی کشت برای مناطق دارای بحران ارائه گردد تا بدین وسیله بتوان بحران آب را تحت کنترل درآورد و از شدت آن کاست (فرج زاده اصل و حسینی، ۱۳۸۸). از طرف دیگر، با توجه به اینکه دشت دارای پتانسیل کشاورزی مطلوبی در سطح استان خراسان رضوی می‌باشد، از این رو در این دشت، بیشترین سطح زیر کشت را غلات و محصولات صنعتی و باغی به خود اختصاص می‌دهند که از نظر نیاز آبی در حد بالایی بوده و با شرایط کم آبی منطقه، سازگار نمی‌باشند (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸٤). عدم رعایت اصول طراحی سیستم‌های آبیاری و پایش صحیح رطوبت خاک به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح آبیاری موجب اتلاف زیاد آب آبیاری به صورت رواناب سطحی یا نفوذ عمقی می‌گردد؛ بنابراین، پایش رطوبت پروفیل خاک در عمق مؤثر ریشه و به تبع آن برنامه-ریزی بهینه آبیاری می‌تواند نقش مؤثری در افزایش راندمان آبیاری و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایفا نماید. با توجه به مطالب فوق، هدف از اجرای این تحقیق واسنجی و ارزیابی کارآیی مدل پرکاربرد AquaCrop در شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد گندم در شرایط مزرعه دشت نیشابور بود به‌طوری که بتوان از این مدل در صورت دارا بودن دقت مناسب در برنامه‌ریزی آبیاری استفاده بهینه نمود.

مواد و روش‌ها

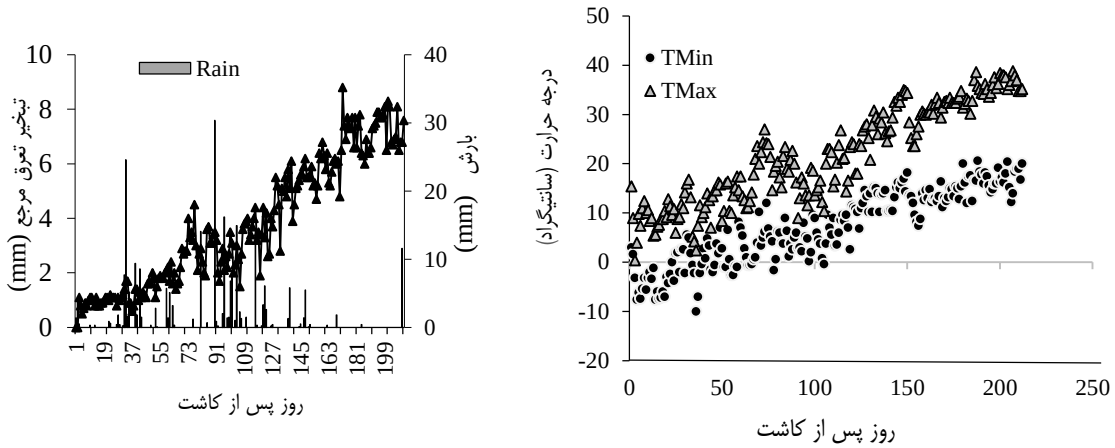
دشت نیشابور جزیی از حوضه آبریز کال شور نیشابور و در دامنه ارتفاعات بینالود و در شمال شرق کویر مرکزی واقع شده است. از نظر اقلیمی دشت نیشابور از سمت غرب و شمال غرب تحت تاثیر توده های هوایی مدیترانه ای، توده های سرد شمالی و خشک و بری جنوبی می باشد. میانگین دراز مدت بارندگی دشت حدود ۲۵٦ میلی متر است. میانگین سالانه دما در ایستگاه نیشابور ۱٤/۲ درجه سانتی گراد می باشد (فرج زاده اصل، ۱۳۸٦). به-منظور ارزیابی کارآیی مدل AquaCrop در برآورد رطوبت خاک، عملکرد دانه، زی‌توده و کارآیی مصرف آب گیاه گندم، تعداد سه مزرعه برای ارزیابی و واسنجی مدل AquaCropگندم به نام‌های فاروب رومان (۱)، حاجی آباد (۲) و سلیمانی (۳) با مشورت کارشناسان مدیریت کشاورزی منطقه به عنوان نماینده کل سطح دشت، انتخاب گردیدند (جدول ۱). به منظور جمع آوری اطلاعات مورد نیاز مدل برای تأمین داده‌های هواشناسی شامل بارندگی (Rain)، دمای حداقل(T_{Min}) ، دمای حداکثر (T_{Max}) محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo)، از اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک نیشابور استفاده شد (شکل (۱)).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مشخصات مزارع انتخاب شده در مطالعه

منطقه	شماره مزرعه	مشخصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت (هکتار)	روش آبیاری
		X	Y			
فاروب رومان	۱	۶۶۵۳۷۰	۴۰۱۰۵۹۷	۱۲۱۳	۱۰	شیاری
حاجی آباد	۲	۶۸۶۷۰۰	۳۹۹۵۳۴۸	۱۲۰۰	۰/۴	کرتی
سلیمانی	۳	۶۵۶۲۸۷	۳۹۸۸۹۸۵	۱۲۱۵	۱	نواری



شکل ۱- داده‌های روزانه هواشناسی در طول دوره رشد گیاه

از هر مزرعه تعداد سه نمونه خاک تا عمق ۹۰ سانتی‌متر جهت تعیین مشخصات فیزیکی خاک مزارع انتخابی برداشت شد که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. علت افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک مزارع، افزایش فشردگی و کاهش تخلخل خاک به علت فشار اعمال شده بر خاک به واسطه تردد زیاد ماشین های حمل محصول (گوجه فرنگی) قبل از کشت گندم بود. اندازه گیری رطوبت خاک مزارع از سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متر به روش وزنی صورت پذیرفت، به طوری که این اندازه گیری ها در مزارع شماره یک (فاروب) و شماره سه (سلیمانی) در پنج نوبت و در مزرعه شماره دو (حاجی آباد) در ۷ نوبت در فصل زراعی انجام شد. داده‌های گیاهی و زراعی مورد نیاز مدل در طول فصل رشد، تاریخ آبیاری، عمق و شوری آب آبیاری، عمق توسعه ریشه، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه در مزارع انتخابی اندازه-گیری شدند. همچنین در انتهای فصل رشد، تاریخ برداشت و میزان عملکرد محصول اندازه‌گیری و ثبت گردید. عمق آبیاری با استفاده از حاصل ضرب دبی آب در زمان آبیاری و تقسیم آن بر مساحت مزرعه تعیین شد. به‌طوری که عمق آب آبیاری در مزارع انتخابی ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب برابر ۶۲۰، ۴۰۰ و ۴۲۰ میلی متر محاسبه شد. روش آبیاری استفاده شده در مزرعه (۱) فاروب رومان شیاری، در مزرعه (۲) حاجی آباد کرتی و در مزرعه (۳) سلیمانی نواری بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- داده های خاک مزارع انتخابی مورد نیاز مدل

مزرعه	عمق خاک (cm)	چگالی ظاهری (g/cm^{-3})	بافت خاک	درصد رطوبت حجمی FC	درصد رطوبت حجمی PWP	EC (dS/m)	Ks (cm/day)
۱	۰-۳۰	۱/۵۱	سیلتی لوم	۲۰/۱	۱۰/۹	۱/۰۶	۲۰/۵
	۳۰-۶۰	۱/۵۷	لوم	۱۷/۱	۸/۳	۰/۶۸	
	۶۰-۹۰	۱/۵۸	لوم	۱۹/۷	۹/۴	۰/۸	
۲	۰-۳۰	۱/۴۳	لوم	۱۸/۵	۸/۵	۱/۵۶	۴۱/۴
	۳۰-۶۰	۱/۴۹	لوم شنی	۱۷/۹	۸	۲/۶۹	
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	لوم	۱۷/۱	۷/۸	۲/۰۲	
۳	۰-۳۰	۱/۷۲	سیلتی لوم	۱۷	۸/۱	۶/۹۶	۱۶/۲
	۳۰-۶۰	۱/۷۰	سیلتی لوم	۲۳	۱۱/۸	۷/۵	
	۶۰-۹۰	۱/۷۱	سیلتی لوم	۱۸/۲	۱۱	۸/۲	
روش اندازه گیری	اوگر	سیلندر	هیدرومتری	صفحات فشاری		عصاره اشباع	بارافتان
منبع		بلک و هارتگ (۱۹۸۶)	گی و بادر (۱۹۸۶)	کلوت (۱۹۸۶)		ریچاردز (۱۹۵۴)	کلوت و دیرکسن (۱۹۸۶)

معرفی مختصر مدل AquaCrop

مدل مذکور جدیدترین مدل شبیه‌سازی رشد گیاه بر اساس مقدار آب مصرفی (Water Driven Model) است که نسبت به مدل های دیگر برای شبیه‌سازی رشد گیاهان به پارامترهای کمتری نیاز دارد. معادله اساسی به‌کار رفته در این مدل روش دورنباس و کسام (۱۹۷۹) می‌باشد (معادله ۱).

$$\frac{Y_{max} - Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(\frac{ET_{max} - ET_a}{ET_{max}}\right) \qquad (۱)$$

به‌طوری که در آن:

Y_a : عملکرد واقعی، ($Kg\ ha^{-1}$)؛ Y_{max}: عملکرد حداکثر، ($Kg\ ha^{-1}$)؛ ET_a : تبخیر و تعرق واقعی، (mm)؛ ET_{max} : تبخیر و تعرق حداکثر، (mm)؛ K_y: ضریب حساسیت محصول (نسبت کاهش محصول در برابر کاهش مصرف آب).

در دو دهه اخیر، کارشناسان بخش آب و خاک FAO ضمن بازنگری در تئوری مطرح شده در رابطه (۱)، موفق به طراحی مدل مذکور گردند. تغییرات صورت داده شده در رابطه دورنباس و کسام در این مدل عبارتند از:

۱- تأثیر شاخص برداشت (HI) در زی توده نهایی جهت محاسبه عملکرد نهایی محصولات لحاظ شده است.

۲- در این مدل مقدار تبخیر و تعرق تفکیک شده و به‌صورت تبخیر از سطح خاک (Es) و تعرق (T_r) در محاسبه عملکرد نهایی در نظر گرفته شده است. از آنجایی که در ابتدای رشد گیاهان (مرحله اولیه) سطح آسمانه و پوششی گیاهان کم می باشد، مقدار تبخیر از سطح خاک قابل توجه بوده و نباید در محاسبه مقدار آب مصرفی توسط گیاهان در نظر گرفته شود. در این مدل برای محاسبه میزان تبخیر از سطح خاک از معادله Ritchie (1972) استفاده شده است. با توجه به موارد گفته شده مقدار زی توده بر اساس میزان آب مصرفی توسط گیاه (مقدار تعرق) برآورد می‌شود. ارتباط بین تعرق و میزان زی توده تولید شده (T_r and Biomass):

۱- نقش تابش خورشید در هر دو فرایند تعرق گیاه و جذب کربن

۲- مسیر مشترک جهت انجام عمل تعرق گیاه (روزنه‌ها) و جذب دی اکسید کربن (CO_2)

۳- رابطه بین جذب و تنفس در گیاه

همانطوری که در رابطه (۲) مشاهده می‌گردد، در این مدل از پارامتر کارآیی مصرف آب (WP) در برآورد مقدار زی توده استفاده شده است.

$$WP = \frac{Biomass}{\sum T_C} \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

به‌طوری که:

WP: کارآیی مصرف آب ($g\ m^{-2}\ mm^{-1}$)؛ T_C: مقدار تعرق گیاه ($mm\ day^{-1}$).

در اقلیم‌های مختلف مقدار WP توسط Tanner و Sinclair در سال ۱۹۸۳ برای بسیاری از گیاهان محاسبه شده است، لیکن با توجه به متغیر بودن مقدار آن در شرایط مختلف، جهت شبیه‌سازی میزان عملکرد و از بین بردن تغییرات اقلیمی اثرگذار بر این پارامتر (تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) و غلظت دی اکسید کربن) پارامتر WP نرمال سازی می‌گردد. در نتیجه گیاهان در گروه‌های مشابه از لحاظ کربن ۳ یا ٤ (C_3 و C_4) تقسیم‌بندی می‌گردند. در این صورت *WP (کارآیی مصرف آب نرمال شده) در مدلAquaCrop از رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$WP^{*} = \frac{Biomass}{\sum_{i=1}^{n} (\frac{T_c}{ET_O})i} \qquad (۳)$$

بدین ترتیب مقدار زی توده از رابطه (٤) قابل برآورد می‌باشد.

$$Biomass = WP^{*} \sum_{i=1}^{n} (\frac{T_C}{ET_0})i \qquad (٤)$$

به‌طوری که در آن:

WP^{*}: کارآیی مصرف آب نرمال شده توسط تبخیر و تعرق گیاه و غلظت دی اکسید کربن ($g\ m^{-2}$ یا $ton\ ha^{-1}$)؛ ET_o: تبخیر و تعرق مرجع ($mm\ day^{-1}$).

شاخص‌های آماری مورد استفاده در ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی کارآیی مدل‌ها از چندین آماره ارزیابی شامل برازش رگرسیون خطی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با خط ۱:۱، ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارآیی مدل(EF) و خطای برآورد (P_e) استفاده می‌شود که در زیر به تفکیک به تشریح هریک پرداخته می‌شود:

آماره ریشه میانگین مربعات خطا با مقایسه اختلاف مقادیر واقعی یا مشاهده شده (O_i) و پیش‌بینی شده (P_i) توسط مدل می‌تواند کارآیی عملکرد مدل را ارزیابی نماید. به جز شاخص کارآیی مدل (که هرچه به یک نزدیک تر باشد عملکرد مدل بهتر است)، هر چه مقدار سایر شاخص‌ها کمتر باشد، نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل بوده و در شرایطی که مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل برابر باشند، مقدار شاخص صفر خواهد بود (عابدین پور ۱۳۹۷). این آماره‌ها از روابط ۷-۵ محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - Oi)^2}{n} \right]^{0.5} \qquad (۵)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \overline{O})^2} \qquad (٦)$$

$$P_e = [(O_i - P_i)/O_i] \times 100 \qquad (۷)$$

که در آن‌ها:

n: تعداد داده ها؛ P_i: داده های شبیه سازی شده توسط مدل و O_i: داده های واقعی یا مشاهده ای مزرعه است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل

واسنجی مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه ۱ صورت پذیرفت. داده‌های اندازه‌گیری شده گیاهی و حفاظت شده مدل مربوط به این مزرعه در جدول ۳ نشان داده شده است. مقایسه داده‌های خروجی شبیه‌سازی شده توسط مدل (عملکرد دانه، زی توده و کارآیی مصرف آب) با داده‌های مشاهده شده یا واقعی و تغییر ضرایب مدل صورت پذیرفت. این عمل آنقدر صورت می‌پذیرد تا داده‌های شبیه‌سازی شده با مشاهده شده دارای خطای تخمین قابل قبول گردد. بدین جهت داده‌های اقلیم، گیاهی، خاک، مدیریت مزرعه که اندازه‌گیری یا برآورد شده بودند، وارد مدل گردید و مدل اجرا گردید. سپس با کاهش یا افزایش برخی از ضرایب مدل (نزدیک مقادیر پیش فرض مدل یا محافظت شده)، بهترین برازش بین مقادیر عملکرد محصول مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حاصل شود. یکی از ضرایب حساس و

www.SID.ir

Archive of SID

مهم گیاهی در واسنجی مدلAquaCrop ، مقدار پوشش گیاهی(CC) است.

همچنین نرخ رشد پوشش توسط مدل پس از وارد کردن تاریخ‌هـای فنولـوژیکی گیاه مانند زمان سبزشدن، زمان رسیدن به حداکثر پوشش گیاه (CC_x)، زمان آغاز پیری و نیـز بلـوغ و رسیدن محصـول محاسبه می-گردد. همچنین ضرایب رشد گیاه (CGC)، ضریب کاهش پوشش (CDC) و نمایه‌هـای تنش آبـی از ضرایب اصلی بـرای برآورد پوشش گیاهی(CC) می‌باشـد. پارامتر تنش آبی و شکل منحنی‌های تنش نیز نسبت به داده پیش فرض مدل تغییر داده می شود تا بهترین برازش بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده حاصل گردد.

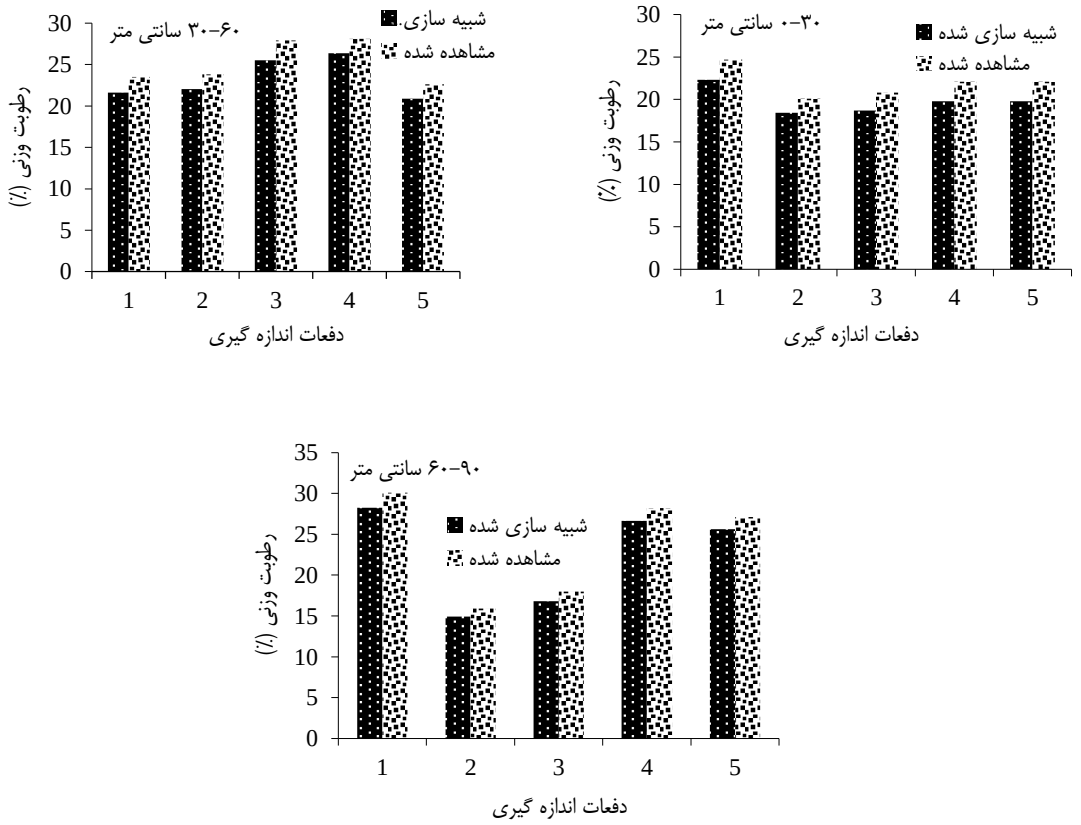
جدول ۳- داده های گیاهی استفاده شده در مرحله واسنجی مدل

پارامتر	مقدار	واحد
حد پایین یا درجه حرارت پایه، (درجه سانتی گراد)	۰	°C
(درجه سانتی گراد) حد بالایی درجه حرارت	۲۶	°C
اندازه پوشش گیاهی، زمانی که ۹۰٪ سطح زمین پوشیده شود،	۵	%
حداکثر پوشش گیاهی (درصد پوشش سطح خاک)CCx	۹۰	%
(CGC) ضریب رشد پوشش گیاهی (مقدار در روز یا درجه روز رشد)	۰/۰۰۶	درصد از درجه روز رشد (% GDD)
(CDC) ضریب کاهش پوشش گیاه (مقدار در روز یا درجه روز رشد)	۰/۰۰۴	درصد از درجه روز رشد(% GDD)
حد پایین تخلیه رطوبتی آب خاک برای توسعه پوشش گیاهی، ($P_{exp, lower}$)	۰/۲	درصد از کل آب قابل استفاده
حد بالای تخلیه رطوبتی آب خاک برای توسعه پوشش گیاهی، ($P_{exp, upper}$)	۰/۶۵	درصد از کل آب قابل استفاده
حد بالای تخلیه رطوبت خاک برای کنترل روزنه ها، (P_{sto})	۰/۶۵	درصد از کل آب قابل استفاده
حد بالای تخلیه رطوبت خاک برای شروع پیری پوشش گیاهی، (P_{sen})	۰/۷	-
حد بالای تخلیه رطوبت خاک که باعث توقف گرده افشانی گیاه گردد	۰/۸۵	درصد از کل آب قابل استفاده
حد پایین شوری عصاره اشباع خاک (حدی که اثر تنش شوری خاک برگیاه آغاز شود)	۶	dS/m
کارآیی مصرف آب گیاه نرمال شده(WP^*)	۱۵	g/m^2
شاخص برداشت مرجع(HI_O)	۴۷	٪
حداکثر ضریب گیاهی(KC)	۱/۱	-
مدت زمان کاشت تا جوانه زنی	۷	روز
مدت زمان کاشت تا شروع گلدهی	۸۲	روز
مدت زمان کاشت تا شروع روند پیری	۱۰۲	روز
طول دوره رشد (کاشت تا برداشت)	۱۶۰	روز
طول دوره گلدهی	۱۲	روز
حداقل عمق موثر ریشه	۰/۳	متر
حداکثر عمق موثر ریشه	۱/۵	متر

www.SID.ir

Archive of SID

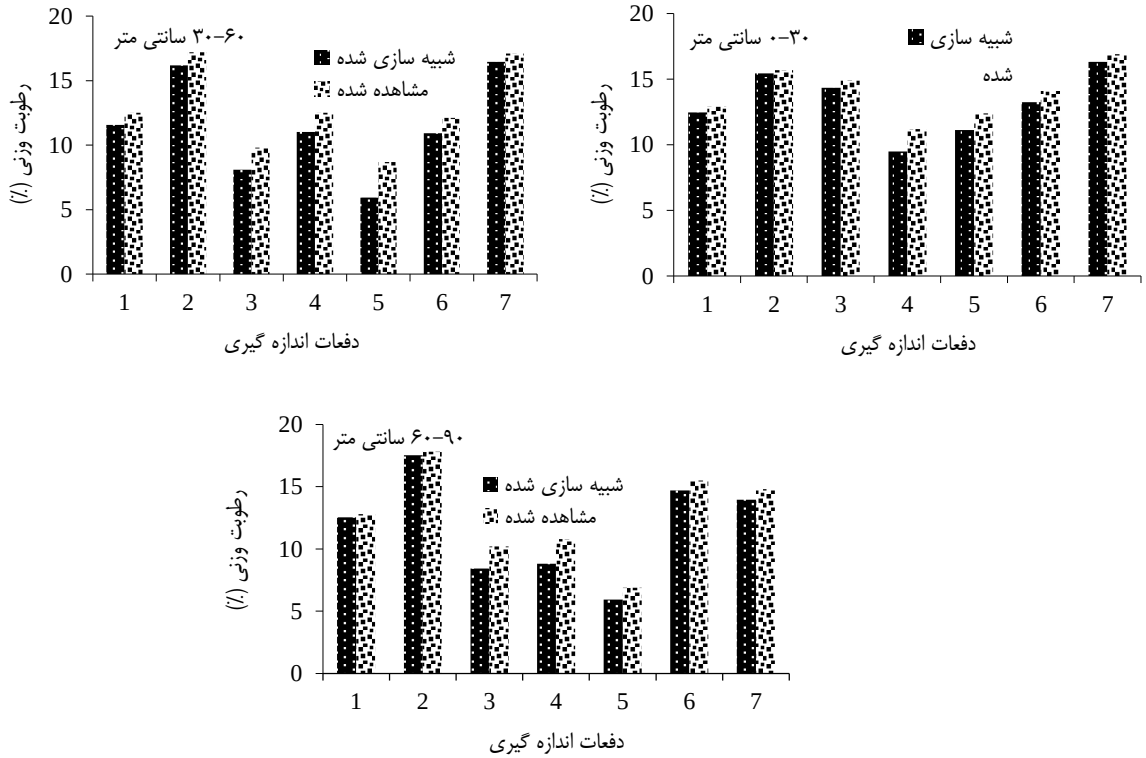
نتایج شبیه‌سازی رطوبت خاک در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر در مزارع انتخابی در شکل-های ۲، ۳ و ٤ نشان داده شده است. مقدار بارندگی در منطقه تحت مطالعه در طول فصل رشد ۲۸۰ میلی‌متر بود. همچنین، مقدار آب آبیاری بین ٤۰۰ تا ٦۲۰ میلی‌متر می باشد. در شرایط مزرعه ای تبخیر- تعرق واقعی گندم بین ٤۵۱ تا ٤۹۸ میلی‌متر متغیر بود. به‌طور متوسط در دشت نیشابور، مقدار تبخیر- تعرق گیاه گندم ٤۷۲ میلی‌متر برآورد گردیده است. مقدار تبخیر-تعرق در مزارع حاجی آباد (مزرعه ۲) و سلیمانی (مزرعه ۳) به دلیل کاربرد میزان یکسان آب تقریباً مشابه می‌باشد؛ اما در مزرعه فاروب رومان (مزرعه ۱) به دلیل انجام آبیاری‌های بیشتر، عدم طراحی صحیح سیستم آبیاری سطحی و وسعت بیشتر مزرعه (افزایش زمان پیشروی آب در شیار و زمان فرصت نفوذ آب در خاک) بخشی از آب آبیاری به صورت نفوذ عمقی و رواناب سطحی از دسترس گیاه خارج شده است. لذا مشاهده می شود در عین حالی که مقدار آبیاری در این مزرعه نسبت به سایر مزارع بالاتر است، تبخیر- تعرق واقعی به دلیل تلفات غیر قابل اجتناب نفوذ عمقی و رواناب سطحی تقریباً در حدود سایر مزارع می باشد. درصد رطوبت خاک در شکل ۲ نسبت به شکل های ۳ و ٤ مبین این مطلب می باشد.



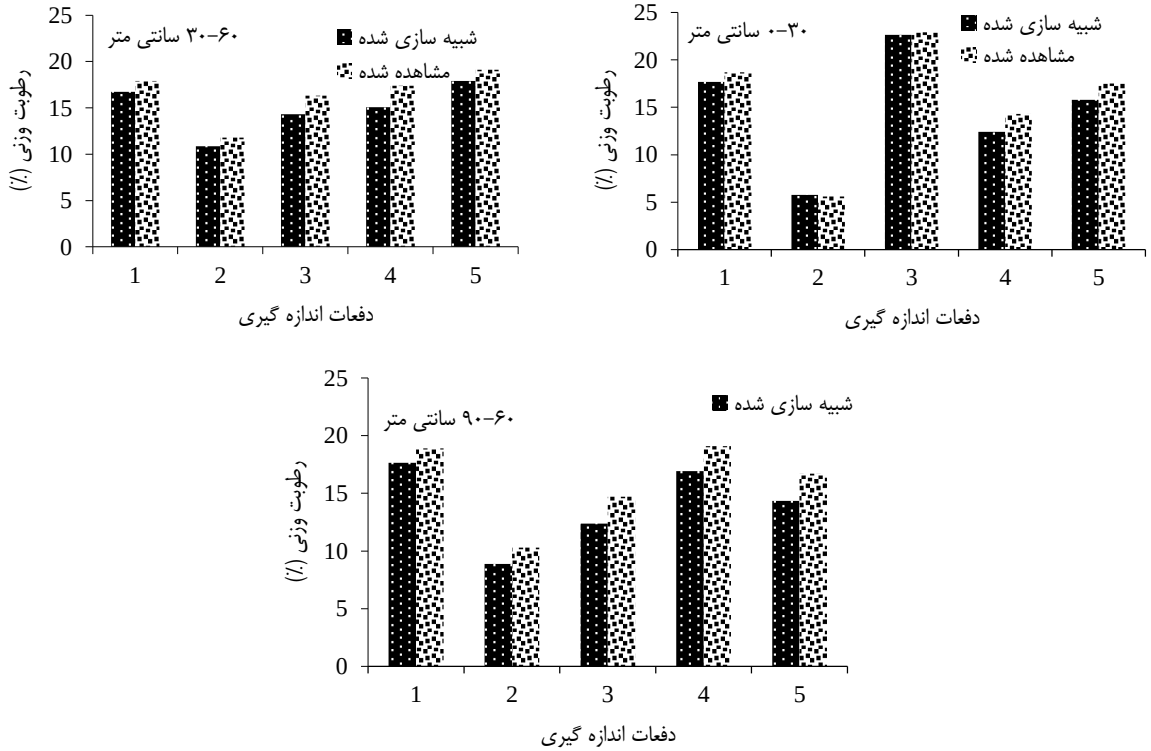
شکل ۲- مقایسه درصد وزنی رطوبت خاک شبیه سازی و مشاهده شده در مزرعه ۱

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه درصد وزنی رطوبت خاک شبیه سازی و مشاهده شده در مزرعه ۲



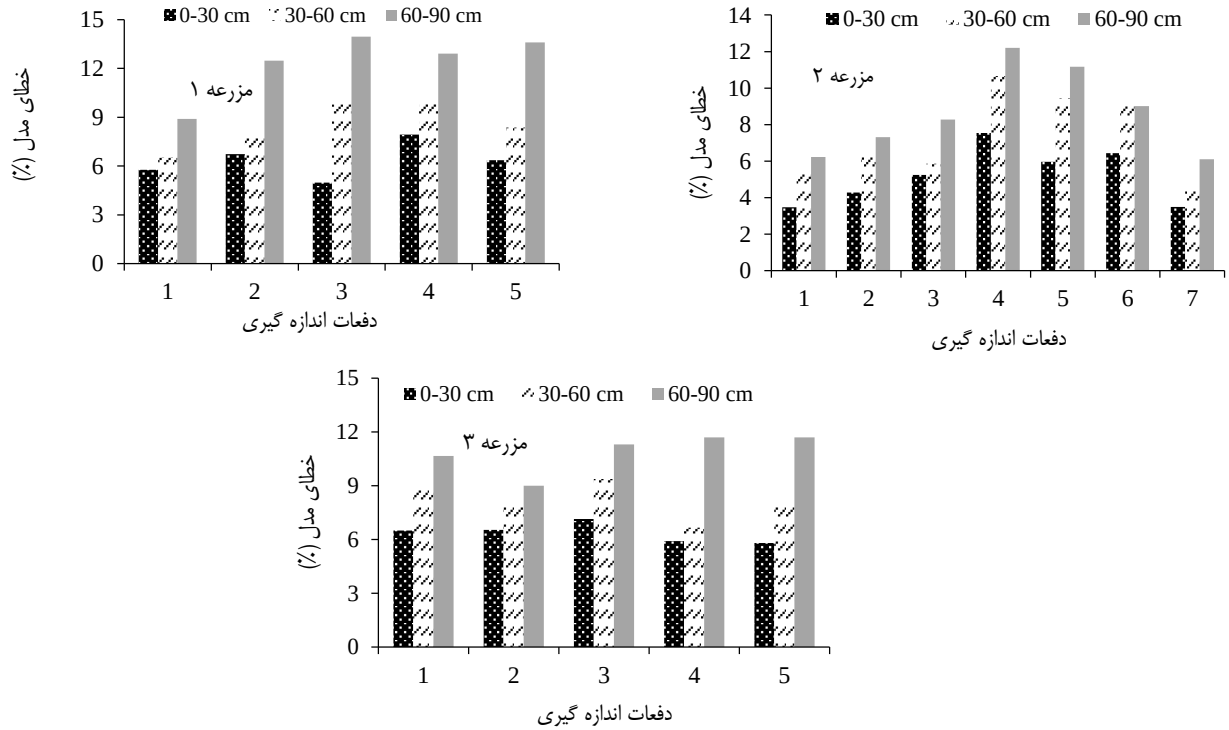
شکل ۴- مقایسه درصد وزنی رطوبت خاک شبیه سازی و مشاهده شده در مزرعه ۳

www.SID.ir

Archive of SID

اعتبار سنجی مدل

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط مدل با داده‌های مشاهده شده در آزمون واسنجی در سه عمق ۳۰-۰، ٦۰-۳۰ و ۹۰-٦۰ سانتی‌متر در شکل ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که حداقل و حداکثر خطا در برآورد میزان رطوبت خاک به ترتیب ۳/۵ و ۱٤ درصد و به‌ترتیب مربوط به عمق‌های ۳۰-۰ و ٦۰-۹۰ سانتی‌متر بود. بررسی شکل ۵ نشان داد که مدل در شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر دارای بالاترین دقت و با $۳/۵<P_e<۷/۵$ درصد در هر سه مزرعه انتخابی بود. نتایج خطای شبیه‌سازی رطوبت خاک در عمق ٦۰-۳۰ سانتی متر برابر $۱۰/۷>P_e>٤/۵$ درصد بود. بالاترین خطای شبیه‌سازی مدل در عمق ۹۰-٦۰ سانتی‌متر به میزان $٦/۱<P_e<۱٤$ درصد حاصل شد، به‌طوری که می‌توان نتیجه گرفت که دقت مدل با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت با افزایش عمق خاک رابطه عکس دارد. به‌علاوه، مطابق نتایج جدول ٤ و با استناد به نتایج حاصل از واسنجی مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک، $۰/۰۲۷<RMSE<۰/۰۳۲$ و $۰/۸<EF<۰/۹۱$، کارآیی مدل قابل قبول ارزیابی می‌گردد.



شکل ۵- مقایسه درصد خطای شبیه سازی رطوبت خاک توسط مدل نسبت به واقعی در سه عمق مختلف در مزارع انتخابی

همچنین در مرحله اعتبار سنجی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای رطوبت خاک(RMSE) بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۳۱ در نوسان بود (جدول ٤). این نتایج مبین آن است که مدل توانایی شبیه‌سازی و برآورد رطوبت خاک را در زمان‌ها و اعماق مختلف را دارد. اختلاف بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و میزان خطای پیش‌بینی شده مدل می‌تواند ناشی از محدودیت‌های ذاتی مدل‌ها باشد، همانند تأثیر پدیده پس‌ماند و جریان ترجیحی آب از میان حفره-های بزرگ (Hysteresis) در مدل منظور نشده است، در حالی که در حالت طبیعی و شرایط مزرعه‌ای با توجه به بافت خاک مزارع تحت مطالعه، این پدیده وجود دارد و به همین علت است که مقادیر رطوبت خاک پیش‌بینی شده مدل در همه اعماق خاک و مزارع مختلف کمتر از مقادیر مشاهده شده می باشد. همچنین یکی از مزایای مدل AquaCrop نسبت به سایر مدل‌ها نیاز به داده‌های ورودی کم می‌باشد و این کاهش دقت مدل ممکن است به علت ساده‌سازی‌های مرتبط با بعضی داده‌های ورودی باشد. به طور مثال مقادیر روزانه بارندگی با این فرض توسط مدل

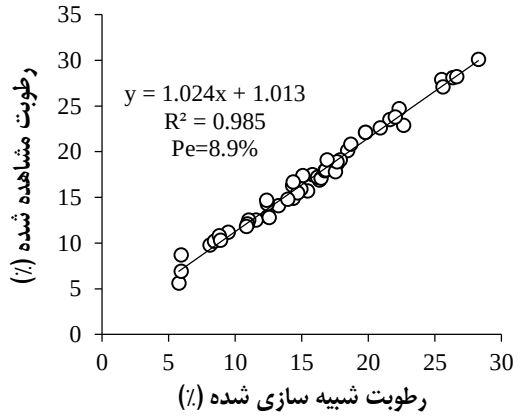
www.SID.ir

Archive of SID

استفاده می‌شود که باران به‌طور یکنواخت در تمام طول روز توزیع شده باشد، در حالی که در حالت طبیعی چنین نمی‌باشد. همچنین تغییرپذیری و خطای مشاهدات مزرعه-ای ممکن است در تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و شبیه-سازی شده نقش اساسی داشته باشد. با این وجود، کارآیی مدل در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی که نزدیک به یک و مقادیر ریشه مربعات خطای رطوبت خاک نیز نسبتاً کم و قابل قبول می‌باشد. همچنین مقدار همبستگی خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده رطوبت خاک و اندازه‌گیری شده عدد ۰/۹۸ را نشان می‌دهد که حاکی از دقت مناسب مدل است (شکل ٦). نتایج تحقیق حاضر نیز با نتایج مطالعات خرسند و همکاران (۱۳۹٤) که کارآیی مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد گیاه گندم تحت شرایط تنش آبی و شوری مورد ارزیابی قرار دادند، مشابه است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مدل دقت خوبی در شبیه‌سازی دانه و رطوبت خاک دارد به-طوری که متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده پیش بینی رطوبت خاک تحت دو رقم گندم بین ١٤/٦ تا ۱۵/۳ درصد متغیر بود. نتایج مشابهی نیز از پژوهش مانش و همکاران (۲۰۱۳) در غرب کانادا گزارش شده است. نتایج پژوهش آن‌ها اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی را برای عملکرد گندم و رطوبت خاک، ۳ و ۲ درصد نشان داد. همچنین، نتایج مطالعه موسوی زاده و همکاران (٢٠١٦) نشان داد که دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت حجمی خاک در هر دو مرحله واسنجی و اعتبار سنجی قابل قبول می-باشد.

جدول ۴- میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و کارآیی مدل (EF) در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی رطوبت خاک

مزارع	واسنجی رطوبت (وزنی)			اعتبارسنجی رطوبت (وزنی)		
	تعداد مشاهدات	RMSE	EF	تعداد مشاهدات	RMSE	EF
۱	۱۵	۰/۰۳۲	۰/۸۰	۱۳	۰/۰۳۱	۰/۸۲
۲	۲۱	۰/۰۲۷	۰/۹۱	۲۱	۰/۰۲۵	۰/۹۴
۳	۱۵	۰/۰۳۱	۰/۸۳	۱۲	۰/۰۳۰	۰/۸۷



شکل ۶- نتایج شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط مدل و مقایسه آن با مقادیر مشاهده شده (درصد وزنی)

همچنین، نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه گندم در مزرعه شماره ۱ و کمترین میزان عملکرد دانه در مزرعه شماره ۳ حاصل شد. میزان رطوبت خاک بیشتر در حد ظرفیت زراعی و شوری کمتر خاک می تواند از دلایل افزایش عملکرد دانه گندم در مزرعه شماره یک باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد

www.SID.ir

Archive of SID

که مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی عملکر دانه و کارآیی مصرف آب دارد به‌طوری که حداکثر دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب به‌ترتیب برابر ٤ و ٤/٨ درصد در مزرعه دوم حاصل شد. همچنین کمترین دقت مدل یا بیشترین خطای شبیه‌سازی موارد فوق به‌ترتیب برابر ۸/۸۳ و ۹ درصد در مزرعه ۱ اتفاق افتاد (جدول ۵). احتمالا دلیل دقت کمتر مدل در مرحله واسنجی که توسط داده های مزرعه شماه ۱ انجام شد، نسبت به مرحله اعتبارسنجی (استفاده از داده های مزارع ۲ و ۳)، وسعت بیشتر مزرعه اول و یکنواختی بیشتر ویژگی های خاک در این مزرعه است.

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی مدل برای عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب مزارع تحت مدیریت کشاورز

مزرعه	عملکرد ($kg\ ha^{-1}$)		P_e (%)	کارآیی مصرف آب ($kg\ m^{-3}$)		P_e (%)
	واقعی	شبیه سازی		واقعی	شبیه سازی	
۱	۶۰۰۰	۵۴۷۰	۸/۸۳	۰/۶۵	۰/۷۱	۹
۲	۵۲۳۰	۵۰۲۰	۴	۱/۲۴	۱/۱۸	۴/۸
۳	۳۰۰۰	۳۲۶۰	۸/۶	۰/۷۵	۰/۷۰	۶/۷

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اگر چه مدل AquaCrop نسبت به مدل های گیاهی دیگر به داده‌های ورودی کمتری نیاز دارد، اما با این وجود از دقت و قدرت قابل قبولی در شبیه سازی رطوبت خاک و عملکرد دانه گندم در شرایط مزرعه برخوردار است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک با افزایش عمق رابطه معکوس و با عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب رابطه مستقیم دارد. در مجموع، مدل AquaCrop برای پایش رطوبت خاک و برنامه ریزی آبیاری در شرایط مزرعه‌ای دارای دقت قابل قبولی بوده و کاربرد آن توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسنده مسئول مقاله به عنوان مجری طرح پژوهشی به شماره ۲۸/۱۳٤۸/۹۷/۲۱۲۱٦ مصوب شورای پژوهشی مرکز آموزش عالی کاشمر از کلیه همکاران گروه علوم و مهندسی آب و اداره جهاد کشاورزی شهرستان نیشابور به‌دلیل در اختیار گذاردن داده‌های مورد نیاز مدل قدردانی می‌نماید.

فهرست منابع

۱. امیری، ا.، بحرانی، ع.، خورسند، ا و حق جو، م. ۱۳۹٤. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم، تحت تنش کم آبی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵ شماره ٤ : ۲۱۷ تا ۲۲۹.

۲. بهرامی، چ.، وردی نژاد، و.ر.، خورسند، ا.، بشارت، س و مجنونی هریس، ت. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کلزای بهاره و رطوبت نیمرخ خاک تحت تنش‌های کم آبی. اکوفیزیولوژی گیاهی، جلد ۱۱ شماره ۳٦: ٦٦-۵۳.

۳. خورسند، ا.، وردی نژاد، ر و شهیدی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد گندم، رطوبت، شوری نیمرخ خاک تحت تنش های شوری و کم آب. نشریه مدیریت آب و آبیاری، جلد٤ شماره ۱: ۸۹-۱۰٤.

www.SID.ir

Archive of SID

٤. فرج زاده اصل، م و حسینی آ. ۱۳۸٦. تحلیل بحران آب دشت نیشابور. فصلنامه مدرس علوم انسانی ویژه نامه جغرافیا، جلد ۱۱: ۲۱۵-۲۳٦.

٥. فرج زاده اصل، م.، ولایتی س و حسینی آ. ۱۳۸٤. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه ریزی محیطی. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی.

٦. عابدین پور، م. ۱۳۹۷. مدیریت آب در کشاورزی با مدل AquaCrop. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، اصفهان، ص ۲۲۸.

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

8. Abedinpour, M., A. Sarangi, T.B.S., Rajput, M. Singh and H. Pathak. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. Agricultural Water Management, 110: 55-66.
9. Adeboyea, O.B., B. Schultz, K. O. Adekalua and K.C. Prasad. 2019. Performance evaluation of AquaCrop in simulating soil water storage, yield, and water productivity of rainfed soybeans (Glycine max L. merr) in Ile-Ife, Nigeria. Agricultural Water Management, 213: 1130-1146.
10. AnjumIqbal, M., Y. Shena, R. Stricevic, H. Pei, H. Sun, E. Amiri, A. Penas and S. del Rio.2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation of field experiment to regional yield simulation. Agricultural Water Management, 135: 61-72.
11. Blake, G.R and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, Pp. 363-375. In: Klute I, (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1 - Physical and Mineralogical Methods Second Edition. American Society of Agronomy, Madison WI.
12. Doorenbos, J and A. H. Kassam.1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper, No. 33. FAO: Rome, Italy.
13. Gee, G.W and J.W. Bouder. 1986. Particle size analysis. In: Methods of soil analysis. Pp. 383-411. In: Klute, I. (Ed). Part 1. Agron. Monoger. 9. I.S.I. Madison. WI.
14. Kale Celik, S., S. Madenoglu and B. Sonmez. 2018. Evaluating AquaCrop model for winter wheat under various irrigation conditions in Turkey. J. of Agri. Sciences, 24(2): 205-217.
15. Klute, A. 1986. Water retention- laboratory methods. Pp. 635-662. In: Klute I, (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
16. Klute, A and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods, A. Klute, Ed. Soil Science Society of America, Madison, WI.
17. Manasah, S. M. and R.B. Paul.2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. Agricultural Water Management, 110: 16-24.
18. Martini, L.C. 2018. Sensitivity analysis of the AquaCrop parameters for rainfed corn in the South of Brazil. Pesq. agropec. Bras. Brasília, 53(8): 934-942.
19. Mousavizadeh, S.F., T. Honar and S. H. Ahmadi. 2016. Assessment of the AquaCrop model for simulating Canola under different irrigation managements in a semiarid area. International Journal of Plant Production, 10(4): 425-446.
20. Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research, 8(5): 1204-1213.
21. Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes and E. Fereres. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. Agronomy Journal, 101(3): 426-437.
22. Toumi, J., S. Er-Raki, J. Ezzahar, S. Khabba, L. Jarlan and A. Chehbouni. 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water

www.SID.ir

Archive of SID

content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. Agricultural Water Management, 163: 219-235.

23. Zhang, W., W. Liu, Q. Xue, H. Pei, J. Chen and X. Han. 2013. Evaluation of the AquaCrop model for simulating yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China. Water Science and Technology, 68(4): 821-828.

www.SID.ir

Archive of SID

Simulation of Soil Moisture and Yield for Wheat Using AquaCrop Model under Field Conditions in Neyshabur Plain

M. Abedinpour [1] [*], H. Dehghan, M. Mokari Baghkheyrati, and H. Memarian Khalil Abad

Assistant Professor, Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.
abedinpour_meysam@yahoo.com
Assistant Professor, Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.
dehghan63.ha@gmail.com
Assistant Professor, Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.
mehdimokari@gmail.com
Associate Professor, Watershed Management Department, University of Birjand, Iran.
hadi_memarian@yahoo.com

Abstract

This study was conducted to simulate water balance components at field scale, predict soil moisture profile, and grain yield in irrigated wheat fields in Neyshabur plain. In this regard, three farms were selected in different parts of the plain. AquaCrop input data including air, soil, and crop parameters were collected at each farm separately, then, the required model parameters and wheat crop data were calibrated. Root mean square error (RMSE), model efficiency (EF) and prediction error (P_e) were used to evaluate the model performance. The results of moisture simulation in soil profile showed that the model correctly simulated moisture content at different depths and times. The statistical parameters used for evaluating efficiency of the model at the calibration stage for simulating soil moisture in all farms were $0.027<RMSE<0.032$, $0.80<EF<0.91$, and $3.5<P_e<14\%$. These values at model validation stage were $0.025<RMSE<0.031$, $0.82<EF<0.94$, and $2.7<P_e<12\%$. The minimum and maximum percentages of model simulation error for grain yield and water productivity in all farms managed by the farmers were 4-8.8% and 4.6 to 9%, respectively. According to the results of the research, AquaCrop model can simulate soil moisture content, grain yield, and water productivity with acceptable accuracy under similar field conditions.

Keywords: Irrigated wheat, Biomass, Water productivity

[1] - Corresponding author: Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.
* - Received: October 2019, and Accepted: January 2020

www.SID.ir