

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

### دشت نیشابور

میثم عابدین پور<sup>۱\*</sup>، هادی دهقان، مهدی مکاری باغخیراتی و هادی معماریان خلیل آباد

استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.

[abedinpour\\_meysam@yahoo.com](mailto:abedinpour_meysam@yahoo.com)

استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.

[dehghan63.ha@gmail.com](mailto:dehghan63.ha@gmail.com)

استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران.

[mehdimokari@gmail.com](mailto:mehdimokari@gmail.com)

دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

[hadi\\_memarian@yahoo.com](mailto:hadi_memarian@yahoo.com)

### چکیده

این تحقیق به منظور شبیه‌سازی اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه‌ای، پیش‌بینی رطوبت در نیمرخ خاک، و هم‌چنین 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 پارامترهای 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. اندازه‌گیری رطوبت خاک مزارع از سه عمق (۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰) سانتی‌متر و در پنج نوبت در فصل زراعی انجام شد. برای ارزیابی کارایی مدل از آماره‌های متوسط خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE)، کارایی مدل (EF) و خطای برآورد (Pe) 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 شبیه‌سازی می‌کند. نتایج تحقیق نشان داد که آماره‌های ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی رطوبت خاک در همه مزارع به ترتیب  $0.32 < RMSE < 0.77$ ،  $0.91 < EF < 0.80$  و  $14 < Pe < 3/5$  درصد بود. این مقادیر در مرحله اعتبارسنجی مدل  $0.31 < RMSE < 0.25$ ،  $0.94 < EF < 0.82$  و  $12 < Pe < 2/7$  درصد حاصل گردید. حداقل و حداکثر درصد خطای شبیه‌سازی مدل برای عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در همه مزارع تحت مدیریت کشاورز به ترتیب  $8/8\% - 4\%$  و  $9\% - 4/6\%$  بود. با توجه به نتایج تحقیق، مدل AquaCrop قادر است میزان رطوبت خاک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب را در شرایط مشابه این مزارع با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی نماید.

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

<sup>۱</sup>- آدرس نویسنده مسئول: کاشمر، گروه مهندسی آب مرکز آموزش عالی کاشمر

\*- دریافت: مهر ۱۳۹۸ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۸

رشد روزافزون تکنولوژی در جهت افزایش بهره‌وری نهاده‌ها و صرفه‌جویی 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 شبیه‌سازی گیاهی، کاربرد آن به‌عنوان ابزاری تحلیلی برای مطالعه 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 محدوده 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 شبیه‌سازی عملکرد محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آب و کود می‌باشند (استودیوتو و همکاران، ۲۰۰۹). در این راستا، عزیزاده و همکاران در سال ۱۳۸۹ به منظور ارزیابی کارآیی مدل AquaCrop بر عملکرد محصول گندم، مطالعه‌ای در منطقه 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 ۱۴ روز کمتر بود. همچنین به‌منظور بررسی کارآیی مدل AquaCrop بر عملکرد گندم زمستانه، مطالعه‌ای ۴ ساله در دشت شمالی چین در ایستگاه لانچنگ در سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۸ تحت کم آبیاری انجام گرفت. اعتبارسنجی مدل با در نظر گرفتن شرایط واقعی مزرعه در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ انجام شد. به طور کلی در اعتبارسنجی مدل، ریشه 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 دانه 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 اقلیم‌های مختلف نیز حاکی از دقت قابل مدل دارد (عابدین پور ۲۰۱۹، آدایو ۲۰۱۴ و آنجوم اقبال ۲۰۱۲). همچنین، امیری و همکاران (۱۳۹۴) 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 زی توده محصول و عملکرد دانه گندم بود. سما و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی 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 AquaCrop توانست با دقت قابل قبولی میزان رطوبت خاک، عملکرد دانه و زی توده گندم را شبیه‌سازی نماید. همچنین، آن‌ها نتیجه گرفتند که AquaCrop می‌تواند به عنوان یک مدل مناسب برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه ریزی آبیاری در مناطق با محدودیت منابع آب پیشنهاد شود. در تحقیقی دیگر، دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی میزان تبخیر و تعرق (ET)، رطوبت خاک (SWC) و عملکرد دانه گندم (Gy) در منطقه تنسیف مراکش مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج تحقیق مدل توانست با دقت قابل قبولی مقادیر ET، SWC و Gy را شبیه‌سازی نماید (تامی و همکاران ۲۰۱۶). همچنین، بر اساس نتایج آزمایشی که در ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی 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 شبیه‌سازی مقادیر عملکرد دانه و زی توده گندم داشت. بطوری که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مقادیر پیش‌بینی 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

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، ۱۳۹۴). نتایج نشان داد که مدل AquaCrop در پیش-بینی عملکرد دانه و بیوماس محصول، دارای دقت قابل قبول هست. نتایج گزارش شده توسط سعادت و همکاران (۱۳۹۷) نیز مبین عملکرد خوب مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندر قند 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 کارایی 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، ۱۳۸۴). عدم رعایت اصول طراحی سیستم‌های

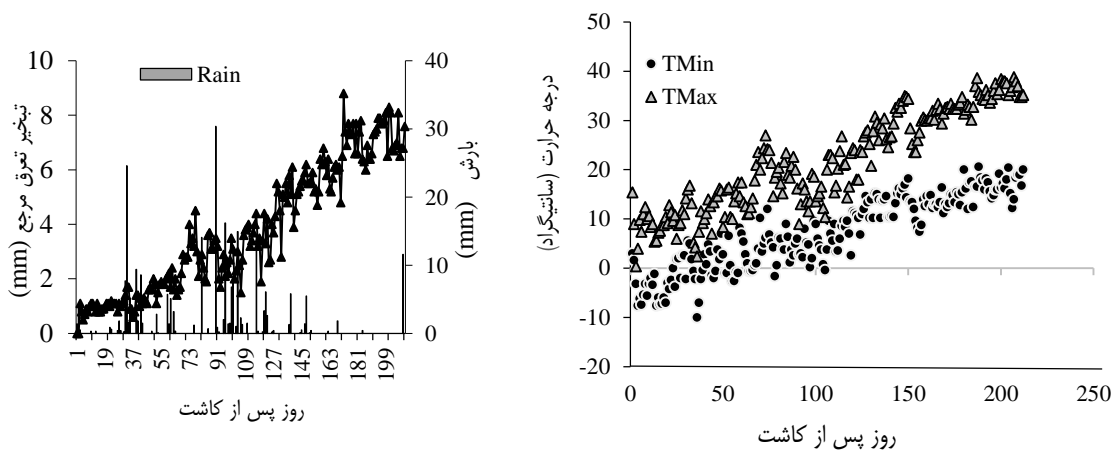
آبیاری و پایش صحیح رطوبت خاک به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح آبیاری موجب اتلاف زیاد آب آبیاری به صورت رواناب سطحی یا نفوذ عمقی می‌گردد؛ بنابراین، پایش رطوبت پروفیل خاک در عمق مؤثر ریشه و به تبع آن برنامه-ریزی بهینه آبیاری می‌تواند نقش مؤثری در افزایش راندمان آبیاری و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایفا نماید. با توجه به مطالب فوق، هدف از اجرای این تحقیق واسنجی و ارزیابی کارایی مدل پرکاربرد AquaCrop در شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد گندم در شرایط مزرعه دشت نیشابور بود به طوری 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 ۲۵۶ میلی متر است. میانگین سالانه دما در ایستگاه نیشابور ۱۴/۲ درجه سانتی گراد می باشد (فرج زاده اصل، ۱۳۸۶). به-منظور ارزیابی کارایی مدل AquaCrop در برآورد رطوبت خاک، عملکرد دانه، زی توده و کارایی مصرف آب گیاه گندم، تعداد سه مزرعه برای ارزیابی و واسنجی مدل AquaCrop گندم 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<sub>Min</sub>)، دمای حداکثر (T<sub>Max</sub>) محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET<sub>o</sub>)، از اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک نیشابور استفاده شد (شکل ۱).

جدول ۱- مشخصات مزارع انتخاب شده در مطالعه

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



شکل ۱- داده‌های روزانه هواشناسی در طول دوره رشد گیاه

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 اندازه‌گیری 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. به طوری که عمق آب آبیاری در مزارع انتخابی ۱، ۲ و ۳ به ترتیب 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.

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 ماشین‌های حمل محصول (گوجه فرنگی) قبل از کشت گندم بود. اندازه‌گیری رطوبت خاک مزارع از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متر به روش وزنی صورت پذیرفت، به طوری که این اندازه‌گیری‌ها 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

جدول ۲- داده های خاک مزارع انتخابی مورد نیاز مدل

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

### معرفی مختصر مدل AquaCrop

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

$$\frac{Y_{\max} - Y_a}{Y_{\max}} = K_y \left( \frac{ET_{\max} - ET_a}{ET_{\max}} \right) \quad (1)$$

به طوری که در آن:

$Y_a$ : عملکرد واقعی،  $(Kg ha^{-1})$ ;  $Y_{\max}$ : عملکرد حداکثر،  
 $ET_a$ : تبخیر و تعرق واقعی،  $(Kg ha^{-1})$ ;  $ET_{\max}$ :  
 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 به صورت 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 آسمان 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 می شود. 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 (روزنه ها) و جذب دی اکسید کربن ( $CO_2$ )
  - ۳- رابطه بین جذب و تنفس در گیاه
- همانطوری که در رابطه (۲) مشاهده می گردد، در این مدل از پارامتر کارایی مصرف آب (WP) در برآورد مقدار زی توده استفاده شده است.

$$WP = \frac{Biomass}{\sum T_c} \quad (2)$$

به‌طوری که:

WP: کارایی مصرف آب ( $\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$ );  $T_c$ : مقدار تعرق گیاه ( $\text{mm day}^{-1}$ ).

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 ۴ ( $C_3$  و  $C_4$ ) تقسیم‌بندی می‌گردند. در این صورت WP\* (کارایی مصرف آب نرمال شده) در مدل AquaCrop از رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$WP^* = \frac{Biomass}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{T_c}{ET_0} \right) i} \quad (3)$$

بدین ترتیب مقدار زی توده از رابطه (۴) قابل برآورد می‌باشد.

$$Biomass = WP^* \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_c}{ET_0} \right) i \quad (4)$$

به‌طوری که در آن:

WP\*: کارایی مصرف آب نرمال شده توسط تبخیر و تعرق گیاه و غلظت دی اکسید کربن ( $\text{g m}^{-2}$  یا  $\text{ton ha}^{-1}$ );  $ET_0$ : تبخیر و تعرق مرجع ( $\text{mm day}^{-1}$ ).

#### شاخص‌های آماری مورد استفاده در ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی کارایی 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)، کارایی مدل (EF) و خطای برآورد ( $P_e$ ) استفاده می‌شود که در زیر به تفکیک به تشریح هر یک 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 کارایی عملکرد مدل را ارزیابی نماید. به جز

شاخص کارایی 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 ۵-۷ محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

$$P_e = [(O_i - P_i) / O_i] \times 100 \quad (7)$$

که در آن‌ها:

$n$ : تعداد داده‌ها؛  $P_i$ : داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و  $O_i$ : داده‌های واقعی یا مشاهده‌ای 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 کارایی 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

پوشش (CDC) و نمایه‌های تنش آبی از ضرایب اصلی برای برآورد پوشش گیاهی (CC) می‌باشد. پارامتر تنش آبی و شکل منحنی‌های تنش نیز نسبت به داده پیش فرض مدل تغییر داده می‌شود تا بهترین برازش بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده حاصل گردد.

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

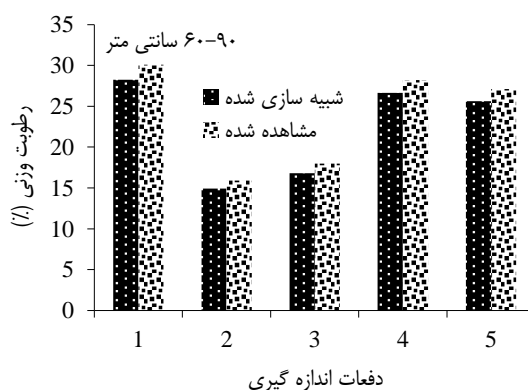
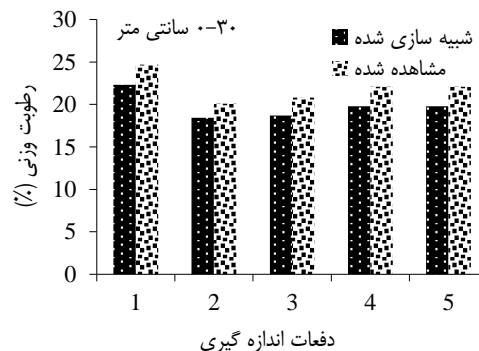
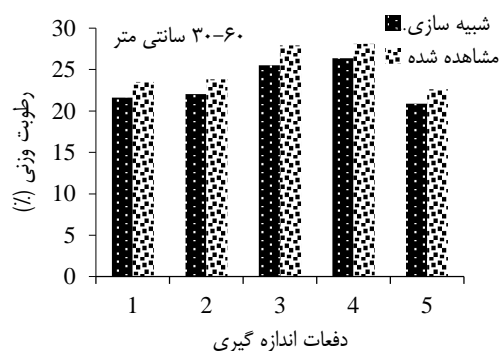
همچنین نرخ رشد پوشش توسط مدل پس از وارد کردن تاریخ‌های فنولوژیکی گیاه مانند زمان سبز شدن، زمان رسیدن به حداکثر پوشش گیاه (CC<sub>x</sub>)، زمان آغاز پیری و نیز بلوغ و رسیدن محصول محاسبه می‌گردد. همچنین ضرایب رشد گیاه (CGC)، ضریب کاهش

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) CC <sub>x</sub>	۹۰	%
(CGC) ضریب رشد پوشش گیاهی (مقدار در روز یا درجه روز رشد)	۰/۰۰۶	(% GDD)
(CDC) ضریب کاهش پوشش گیاه (مقدار در روز یا درجه روز رشد)	۰/۰۰۴	(% GDD)
حد پایین تخلیه رطوبتی آب خاک برای توسعه پوشش گیاهی، (P <sub>exp, lower</sub> )	۰/۲	درصد از کل آب قابل استفاده
حد بالای تخلیه رطوبتی آب خاک برای توسعه پوشش گیاهی، (P <sub>exp, upper</sub> )	۰/۶۵	درصد از کل آب قابل استفاده
حد بالای تخلیه رطوبت خاک برای کنترل روزه ها، (P <sub>sto</sub> )	۰/۶۵	درصد از کل آب قابل استفاده
حد بالای تخلیه رطوبت خاک برای شروع پیری پوشش گیاهی، (P <sub>sen</sub> )	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 بر گیاه آغاز شود)	۶	dS/m
کارایی مصرف آب گیاه نرمال شده (WP*)	۱۵	g/m <sup>2</sup>
شاخص برداشت مرجع (HI <sub>o</sub> )	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

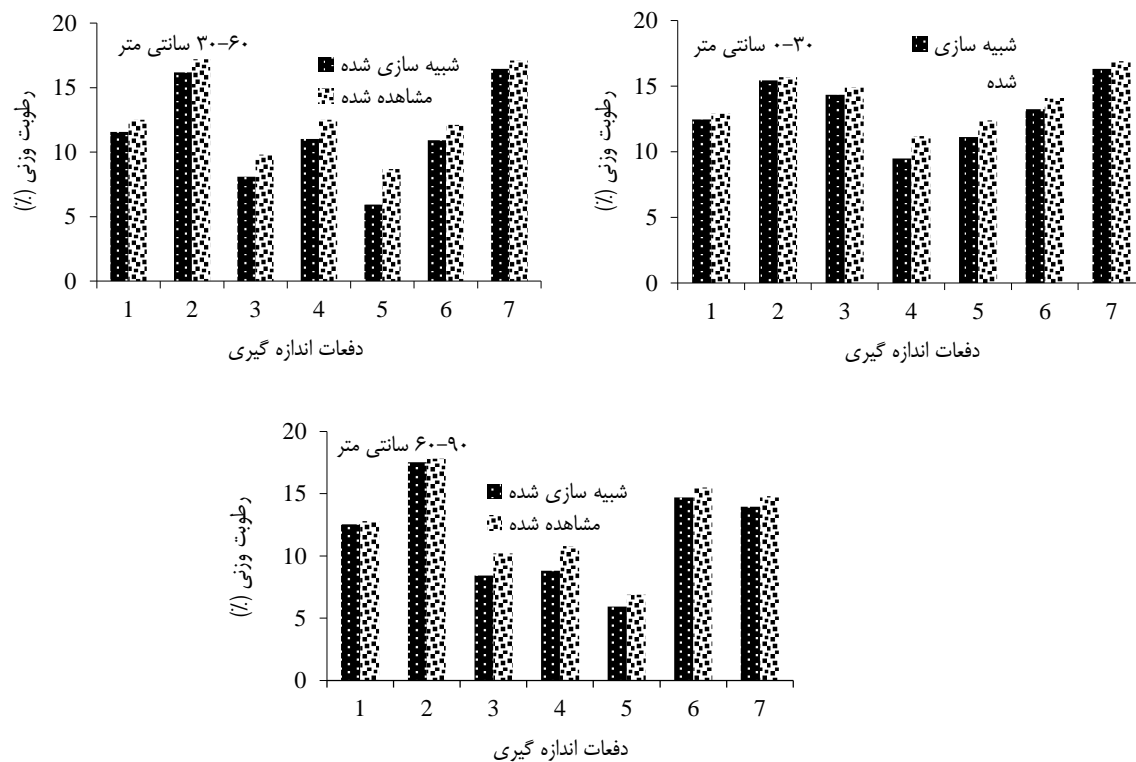
مزرعه ۱) به دلیل انجام آبیاری‌های بیشتر، عدم طراحی صحیح سیستم آبیاری سطحی و وسعت بیشتر مزرعه (افزایش زمان پیشروی آب در شیار و زمان فرصت نفوذ آب در خاک) بخشی از آب آبیاری به صورت نفوذ عمقی و رواناب سطحی از دسترس گیاه خارج شده است. لذا مشاهده می‌شود در عین حالی که مقدار آبیاری در این مزرعه نسبت به سایر مزارع بالاتر است، تبخیر-تعرق واقعی به دلیل تلفات غیر قابل اجتناب نفوذ عمقی و رواناب سطحی تقریباً در حدود سایر مزارع می‌باشد. درصد رطوبت خاک در شکل ۲ نسبت به شکل‌های ۳ و ۴ مبین این مطلب می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی رطوبت خاک در سه عمق ۳۰-، ۶۰-۹۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در مزارع انتخابی در شکل-های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. مقدار بارندگی در منطقه تحت مطالعه در طول فصل رشد ۲۸۰ میلی‌متر بود. همچنین، مقدار آب آبیاری بین ۴۰۰ تا ۶۲۰ میلی‌متر می‌باشد. در شرایط مزرعه ای تبخیر-تعرق واقعی گندم بین ۴۵۱ تا ۴۹۸ میلی‌متر متغیر بود. به‌طور متوسط در دشت نیشابور، مقدار تبخیر-تعرق گیاه گندم ۴۷۲ 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

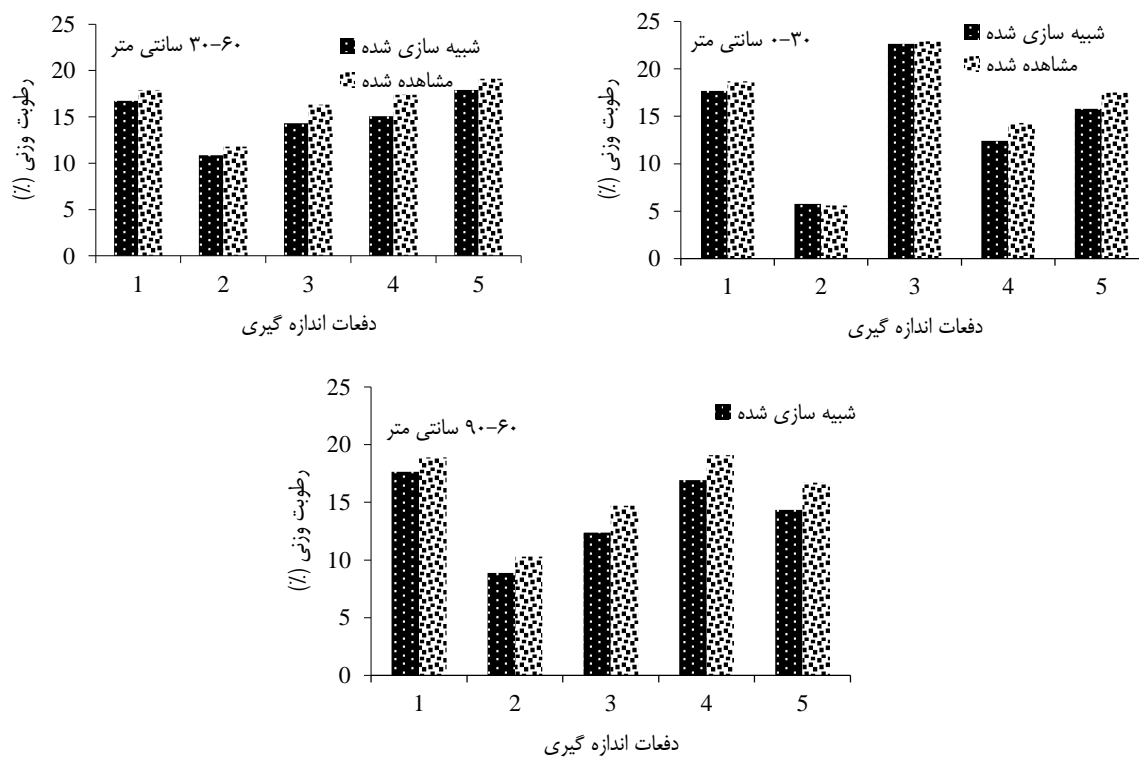


شکل ۲- مقایسه درصد وزنی رطوبت خاک شبیه سازی و مشاهده شده در مزرعه ۱





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

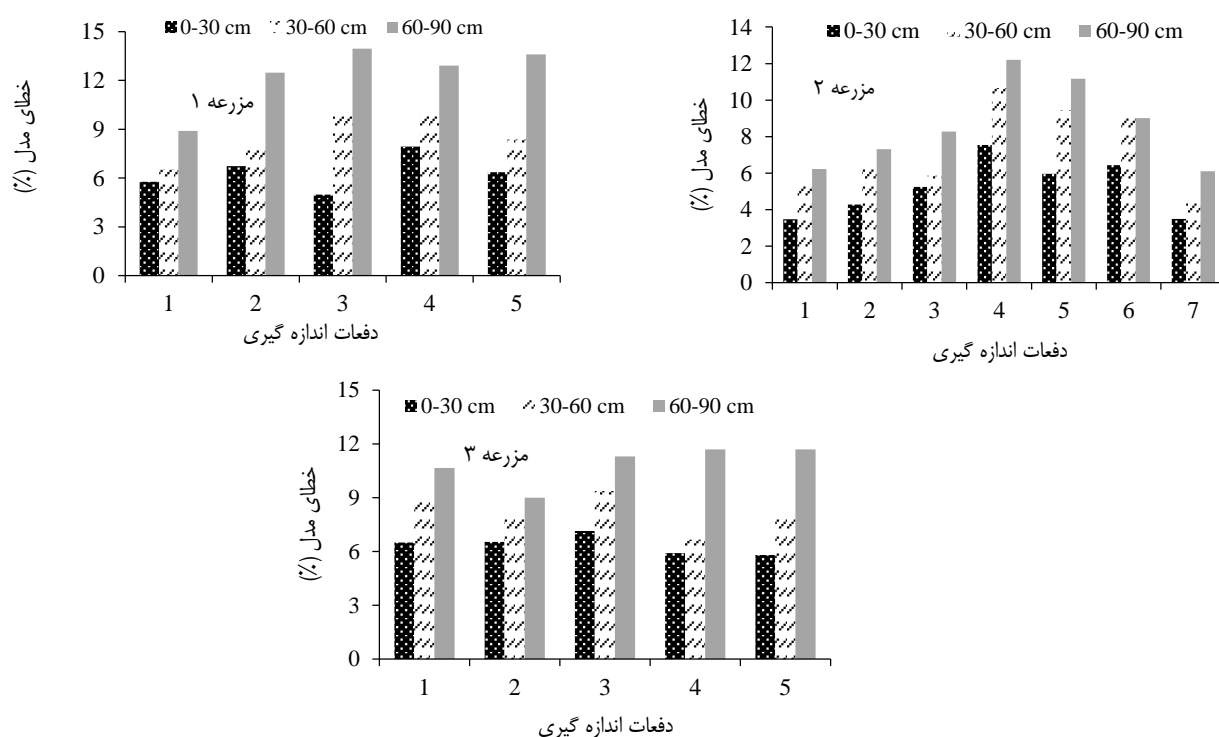


شکل ۴- مقایسه درصد وزنی رطوبت خاک شبیه سازی و مشاهده شده در مزرعه ۳

اعتبارسنجی مدل

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط مدل با داده‌های مشاهده شده در آزمون واسنجی در سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ 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 ۱۴ درصد و به ترتیب مربوط به عمق‌های ۰-۳۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متر بود. بررسی شکل ۵ نشان داد که مدل در شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر دارای بالاترین دقت و با  $P_e < 7/5$  درصد در هر سه مزرعه انتخابی بود.

نتایج خطای شبیه‌سازی رطوبت خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر برابر  $10/7 < P_e < 4/5$  درصد بود. بالاترین خطای شبیه‌سازی مدل در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متر به میزان  $14 < P_e < 6/1$  درصد حاصل شد، به طوری که می‌توان نتیجه گرفت که دقت مدل با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت با افزایش عمق خاک رابطه عکس دارد. به علاوه، مطابق نتایج جدول ۴ و با استناد به نتایج حاصل از واسنجی مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک،  $0/32 < RMSE < 0/27$  و  $0/91 < EF < 0/8$ ، کارایی مدل قابل قبول ارزیابی می‌گردد.



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

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 می‌باشد. 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

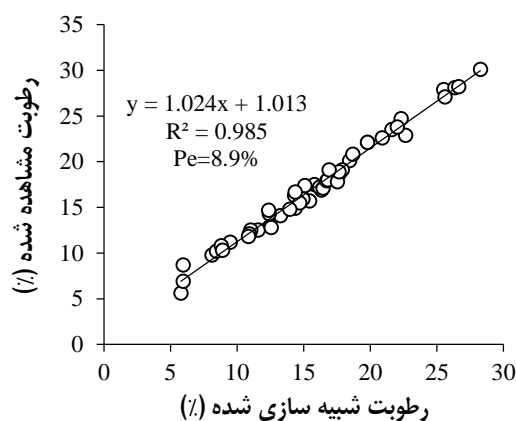
همچنین در مرحله اعتبارسنجی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای رطوبت خاک (RMSE) بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۱ در نوسان بود (جدول ۴). این نتایج مبین آن است که مدل توانایی شبیه‌سازی و برآورد رطوبت خاک را در زمان‌ها و اعماق مختلف را دارد. اختلاف بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده و میزان خطای پیش‌بینی شده مدل می‌تواند ناشی از محدودیت‌های ذاتی مدل‌ها باشد، همانند تأثیر پدیده پس‌ماند و جریان ترجیحی آب از میان حفره‌های بزرگ (Hysteresis) در مدل منظور نشده است، در

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 ۱۴/۶ تا ۱۵/۳ درصد متغیر بود. نتایج مشابهی نیز از پژوهش مانس 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 (۲۰۱۶) نشان داد که دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت حجمی خاک در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی قابل قبول می-باشد.

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 ۶). نتایج تحقیق حاضر نیز با نتایج مطالعات خرسند و همکاران (۱۳۹۴) که کارآیی مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد

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

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



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

رطوبت خاک بیشتر در حد ظرفیت زراعی و شوری کمتر خاک می‌تواند از دلایل افزایش عملکرد دانه گندم در مزرعه شماره یک باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد

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

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.

که مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب دارد به طوری که حداکثر دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب به ترتیب برابر ۴ و ۴/۸ درصد در مزرعه دوم حاصل شد. همچنین کمترین دقت مدل یا بیشترین خطای شبیه‌سازی موارد فوق به ترتیب برابر ۸/۸۳ و ۹ درصد در مزرعه ۱ اتفاق افتاد (جدول ۵).

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

P <sub>e</sub> (%)	کارایی مصرف آب (kg m <sup>-3</sup> )		P <sub>e</sub> (%)	عملکرد (kg ha <sup>-1</sup> )		مزرعه
	شبیه سازی	واقعی		شبیه سازی	واقعی	
۹	۰/۷۱	۰/۶۵	۸/۸۳	۵۴۷۰	۶۰۰۰	۱
۴/۸	۱/۱۸	۱/۲۴	۴	۵۰۲۰	۵۲۳۰	۲
۶/۷	۰/۷۰	۰/۷۵	۸/۶	۳۲۶۰	۳۰۰۰	۳

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 ۲۸/۱۳۴۸/۹۷/۲۱۲۱۶ مصوب شورای پژوهشی مرکز آموزش عالی کاشمر از کلیه همکاران گروه علوم و مهندسی آب و اداره جهاد کشاورزی شهرستان نیشابور به دلیل در اختیار گذاردن داده‌های مورد نیاز مدل قدردانی می‌نماید.

#### نتیجه گیری

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 کارایی مصرف آب رابطه مستقیم دارد. در مجموع، مدل AquaCrop برای پایش

#### فهرست منابع

۱. امیری، ا.، بحرانی، ع.، خورسند، ا. و حق جو، م. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم، تحت تنش کم آبی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵ شماره ۴: ۲۱۷ تا ۲۲۹.
۲. بهرامی، چ.، وردی نژاد، و.ر.، خورسند، ا.، بشارت، س. و مجنوننی هریس، ت. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کلزای بهاره و رطوبت نیمرخ خاک تحت تنش های کم آبی. اکوفیزیولوژی گیاهی، جلد ۱۱ شماره ۳۶: ۶۶-۵۳.
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 آبی. نشریه مدیریت آب و آبیاری، جلد ۴ شماره ۱: ۱۰۴-۸۹.

۴. فرج زاده اصل، م و حسینی آ. ۱۳۸۶. تحلیل بحران آب دشت نیشابور. فصلنامه مدرس علوم انسانی ویژه نامه جغرافیا، جلد ۱۱: ۲۱۵-۲۳۶.
۵. فرج زاده اصل، م، ولایتی س و حسینی آ. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه ریزی محیطی. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی.
۶. عابدین پور، م. ۱۳۹۷. مدیریت آب در کشاورزی با مدل AquaCrop. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، اصفهان، ص ۲۲۸.
۷. عزیزاده، ح، نظری، ب، پارسى نژاد، م، رمضانى اعتدالى، 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 ۴: 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. Boudier. 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

- 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.

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

M. Abedinpour<sup>1</sup>\*, H. Dehghan, M. Mokari Baghkheyrafi, 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

---

<sup>1</sup> - Corresponding author: Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

\* - Received: October 2019, and Accepted: January 2020