

مقاله پژوهشی

واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی AquaCrop جهت شبیه‌سازی عملکرد سه رقم گندم تحت تنش رطوبتی مختلف

امیرحسین قدیریان^۱، مصطفی یعقوب‌زاده^{۲*}، غلامرضا زمانی^۳، علی شهیدی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۳

چکیده

استفاده بهینه از منابع آب موجود و مدیریت آن‌ها با توجه به علم روز، امری بسیار حیاتی است این مهم سبب شده تا استفاده از مدل‌های گیاهی در جهت بررسی اثرات کم‌آبیاری روی عملکرد محصولات کشاورزی اهمیت پیدا کند. بدین منظور، بررسی اثر تنش رطوبتی بر عملکرد و صفات رشدی در سه رقم افق، روشن و نارین و واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی AquaCrop برای این ارقام در سال زراعی ۹۷-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی واقع در بیرجند انجام شد. تحقیق در قالب فاکتوریل به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰ (تیمار شاهد)، ۷۵ (تنش متوسط) و ۵۰ (تنش شدید) درصد نیاز آبی گندم و ۳ تیمار دیگر مربوط به دو رقم جدید افق و نارین و یک رقم قدیمی و بومی روشن کشت شدند. نتایج مقایسه‌ی میانگین انجام‌شده نشان داد، میانگین اثر ساده تنش رطوبتی، اثر ساده ارقام و اثر متقابل تنش در ارقام مختلف در صفات مختلف معنی‌دار بودند. پس از آنالیز و مقایسه میانگین صفات گیاهی، مدل گیاهی AquaCrop برای تنش‌های ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی در دو پارامتر عملکرد دانه و بیوماس واسنجی شد. پس از مرحله اعتبار سنجی مدل، صحت سنجی مدل با تنش ۵۰ درصد نیاز آبی انجام شد. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده مدل، همبستگی و رابطه قابل قبولی نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با توجه به شاخص‌های ارزیابی NRMSE و R^2 دارد. مقدار شاخص NRMSE عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای میانگین تنش‌های رطوبتی ۱۰۰ و ۷۵ درصد در مرحله واسنجی ارقام افق، روشن و نارین به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۸۸ و ۱/۵۱ درصد به دست آمد. این مقادیر در صحت سنجی مدل در تنش ۵۰ درصد به ترتیب ۱/۴۹، ۳/۱۴ و ۰/۰۸ درصد مشاهده شد. همچنین برای اطمینان از صحت سنجی مدل، نتایج با استفاده از داده‌های عملکرد اندازه‌گیری شده رقم روشن در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به مقادیر محاسبه‌شده در شاخص‌های آماری می‌توان به این نتیجه رسید مدل کارایی قابل قبولی برای واسنجی ارقام مختلف گندم می‌تواند به ما بدهد که این مهم به دلیل تعداد بالا و روزافزون ارقام مختلف گندم کاربرد بسیاری در منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد گندم، تنش رطوبتی، مدل AquaCrop، واسنجی، ارقام گندم

مقدمه

کشاورزی (FAO^۱)، توسعه پایدار عبارت است از مدیریت و حفاظت منابع طبیعی پایه و هدایت و تحولات فناوری و نهادی، به طوری که از تأمین نیازهای انسانی برای نسل‌های کنونی و آینده بشریت به صورت مستمر و پایدار اطمینان حاصل شود. خشک‌سالی به‌تنهایی بزرگ‌ترین استرس غیرزنده‌ای است که منجر به کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌شود، همچنین تولید این محصولات زراعی حتی در شرایط پرتنش محیطی ضروری است (Budak, 2013). گندم در ایران بیشتر در مناطقی با بارندگی کم کشت می‌شود که در این مناطق همواره آبیاری تکمیلی لازم است. بر اساس آمارهای سایت FAO در ایران کشت گندم به حدود ۷/۳ میلیون هکتار و تولید کل ۱۴/۵ میلیون تن

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز به مواد غذایی فشار بیشتری برای تأمین غذای مورد نیاز بر منابع طبیعی وارد می‌شود. از سوی دیگر این مهم باعث شده است که بخش کشاورزی که اصلی‌ترین بخش در تأمین نیاز غذایی انسان است، می‌بایست در جهت توسعه پایدار گام بردارد. از دیدگاه سازمان جهانی خواروبار

۱- دانش آموخته ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۲ و ۴- عضو هیئت‌علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- عضو هیئت‌علمی گروه علوم زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بیرجند

(*- نویسنده مسئول: Email: M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.26.7

مقادیر واقعی آن‌ها تخمین بزند. در این تحقیق مشخص شد که در سال‌های تر با به کار بردن عمق آبیاری به میزان ۲۰۰ میلی‌متر در مراحل کاشت، جوانه‌زنی، کشیدگی ساقه، گلدهی یا پر شدن دانه‌ها بالاترین عملکرد محصول حاصل می‌شود. همین نتیجه برای سال‌های معمولی با به کار بردن عمق آبیاری به میزان ۲۰۰ میلی‌متر در مراحل کاشت، کشیدگی ساقه، گلدهی و همچنین برای سال‌های خشک با به کار بردن عمق آبیاری ۳۰۰ میلی‌متر در مراحل کاشت، جوانه‌زنی، گلدهی و پر شده دانه‌ها صادق می‌باشد (Andarziyan et al., 2011).

نظر به اینکه در استان خراسان جنوبی، کمبود آب و کاهش کیفی منابع آب‌و خاک از عوامل اصلی کاهش تولید می‌باشند، کاربرد روش کم آبیاری و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی دو راهبرد مدیریتی جهت تعدیل وضعیت خشک‌سالی و بحران آب قلمداد شده و از اولویت خاصی برخوردار است. حال در صورتی که میزان آب قابل دسترس مشخص باشد، با محاسبه عمق بهینه آب آبیاری می‌توان سطح زیر کشت بهینه را نیز تعیین نمود که تهیه این اطلاعات، کمک بزرگی به امر تصمیم‌گیری در بخش مدیریت آبیاری خواهد نمود (شهیدی، ۱۳۸۷).

مؤمنی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل رشد گیاهی CropSyst برای تحلیل بهره‌وری آب، به‌عنوان شاخصی از راندمان مصرف آب در بررسی توسط مدل نشان داد که رسیدن رطوبت اولیه خاک به حد ظرفیت زراعی، (حدود ۱۹/۶ درصد)، عدم جمع‌آوری کل باقیمانده گیاهی از روی زمین، بارندگی و تاریخ کشت زود هنگام نسبت به روش مرسوم در منطقه و تعداد بذر (۳۰۰ عدد در مترمربع) در افزایش بهره‌وری آب و عملکرد مؤثر می‌باشند. بنابراین جنبه نوآوری و اهداف این تحقیق شامل واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای سه رقم مختلف جدید و پرکاربرد در منطقه و استفاده از حالت‌های مختلف تیمار آبی برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل هست.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه بیرجند در فاصله ۵ کیلومتری غرب شهر بیرجند در مسیر جاده بیرجند- طیس، مجاور روستای امیرآباد قرار دارد در آذرماه فصل پاییز کشت شد. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا انجام شد. متوسط بارندگی این منطقه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و میانگین سالانه‌ی دمای آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است.

و طور متوسط با بهره‌وری حدود ۲ تن در هکتار می‌باشد. تنش خشکی تأثیر قابل توجهی بر رشد گیاه دارد، اگرچه دامنه کاهش به دلیل تفاوت در زمان تنش و شدت استرس وارد شده و رقم مورد استفاده در منطقه بسیار متفاوت است (Farshadfar, 2012).

بخش کشاورزی در اقتصاد ملی و تأمین غذای جامعه نقش اساسی دارد و در جهت دستیابی به پایداری در این بخش، ضروری است از منابع و ابزارهای تولید در این بخش به بهترین شکل ممکن استفاده شود تا ضمن کاهش در مصرف این منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان نیز افزایش یابد (مهاجرانی و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع، به‌عنوان یک عامل اصلی محدودکننده تولید، نقش مهمی را در تعیین نوع فعالیت‌های زراعی ایفا می‌کند. از این‌رو، ارزیابی آب موردنیاز سیستم‌های کشاورزی همواره از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (Osamu et al., 2005).

خشکی علت اصلی کاهش عملکرد گیاه گندم است. این واقعیت وجود دارد همواره تقاضای آب برای محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد و سؤال اساسی آن است که چگونه می‌توان تولیدات کشاورزی را همراه با استفاده پایدار از منابع آبی و حفاظت از آن افزایش داد (Duggan and Fowler, 2006). یک تکنیک برای مدیریت کارآمد منابع آب آبیاری، استفاده از مدل‌های جدید در تعیین نیاز آبی و زمان‌بندی آبیاری در کنار فعالیت‌هایی در راستای اصلاح گیاهان، از مدیریت‌های کارآمد در زمینه توسعه پایدار منابع آب در کشاورزی می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۹۴). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، محدودیت‌های موجود در تحقیقات صحرایی را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و آن‌ها را تبدیل به ابزاری توانا در بررسی و تحلیل سناریوهای مختلف و انتخاب مدیریت مناسب آب کرده است (Kroes et al., 2008).

دقت نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی به‌دقت داده‌های موردنیاز بستگی داشته و در صورت دسترسی به این داده‌ها و واسنجی صحیح، این مدل‌ها می‌توانند بدون محدودیت‌های مکانی و زمانی موجود در تحقیقات صحرایی و صرف هزینه و زمان کمتر جهت ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری و اثرات درازمدت این مدیریت‌ها به کار گرفته شوند (Kuo et al. 2006). بنابراین این مدل‌ها توصیه‌های عملی را برای کشاورزان و کسانی که به‌صورت گسترده روی برنامه‌ریزی کم آبیاری و استفاده از آب شور تحت شرایط مختلف تأمین آب و شرایط مختلف مدیریت محصول کار می‌کنند، فراهم می‌نماید (Singh, 2006).

اندروزیان و همکاران برای شبیه‌سازی عملکرد کشت گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری در ناحیه جنوبی ایران (اهواز، خوزستان) از مدل AquaCrop استفاده نمودند. این مدل توانست میزان آب خاک ناحیه ریشه، عملکرد و ماده خشک را با تفاوت ۱۰ درصد نسبت به

آنالیز خاک، مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به خاک داده شد به‌طوری‌که کودهای فسفره و پتاسیمی و حدود یک‌چهارم کود ازت، قبل از کشت در سطح کرت‌های آزمایشی به‌طور یکنواخت توزیع و با بیل به زیر خاک برده شد. بقیه کود ازت در سه نوبت در مراحل پنجه دهی، ساقه رفتن و خوشه‌دهی به میزان مساوی در سطح داخل کرت‌ها توزیع و با آب آبیاری به داخل خاک هدایت شد. در جدول ۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و جدول ۲ خصوصیات شیمیایی آب قابل مشاهده می‌باشد.

آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد سه رقم گندم انجام شد. این تحقیق در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ۳ رقم مختلف گندم (S1، S2 و S3) به ترتیب رقم‌های افق، روشن و نارین) و سطوح مختلف آبیاری (D1، D2 و D3) به ترتیب معادل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) اجرا گردید. ابتدا مراحل آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک، لولر) انجام گرفت و سپس بر اساس نقشه‌ی کاشت عملیات کرت بندی بر روی قطعه زمین مذکور صورت انجام شد. ابعاد کرت‌ها ۲×۳ (متر در متر)، فاصله‌ی بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله‌ی بین بلوک‌ها هم ۱/۱۵ متر برای هر کرت در نظر گرفته شد. بر اساس

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (سانتی‌متر) Depth (cm)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Absorbable potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Absorbable phosphorus (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی (%) Organic carbon (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر) EC of saturation extract (dS.m ⁻¹)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g.cm ⁻³)	درصد اندازه ذرات Particle size percentage			
							بافت خاک Soil texture	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)
۳۰-۰	۲۵/۹۲	۱۰/۶۲	۰/۴۹	۷/۸	۸/۱۲	۱/۴	Loam	۴۲/۴	۴۳/۵	۱۴/۱
۶۰-۳۰	۳۲/۱۴	۸/۴۳	۰/۴۱	۷/۴	۷/۵۱	۱/۲۵	Loam	۳۵/۲	۴۳/۲	۲۱/۶
۹۰-۶۰	۳۴/۱۵	۹/۷	۰/۳۵	۷/۳	۶/۹۳	۱/۳۳	Loam	۴۳/۴	۳۱/۵	۲۵/۲

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم SAR	کاتیون‌ها Cations (meq/lit)				آنیون‌ها Anions (meq/lit)			
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Hco ₃ ⁻	Co ₃ ²⁻	So ₄ ²⁻
۱/۴	۸	۷/۵	۳/۵	۲/۷	۱۳/۳	۰/۰۸	۸/۸	۴/۹	۰	۶/۴

آبیاری D1, D2, D3 به ترتیب برابر با ۵۳۴۰، ۴۰۸۰ و ۲۸۲۰ مترمکعب در هکتار بود. (زمانی، ۱۳۸۷)

محاسبه بیوماس در مدل AquaCrop

با توجه به موارد گفته‌شده مقدار بیوماس بر اساس میزان آب مصرفی توسط گیاه (مقاله تعرق) تخمین زده می‌شود؛ بنابراین ارتباط بین تعرق و میزان بیوماس تولیدشده در مدل (Biomass & Tr) با در نظر گرفتن موارد زیر بیان می‌گردد:

برنامه‌ریزی آبیاری

در این تحقیق برنامه‌ریزی آبیاری و اعمال رژیم‌های مختلف آب، بر اساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی انجام شد (زمانی، ۱۳۸۷). اولین آبیاری پس از کاشت بذرها، به‌منظور جوانه‌زنی و سبز شدن یکنواخت در تاریخ ۲۶ آذرماه ۱۳۹۶ با آب شیرین و به میزان یکسان برای کرت‌های آزمایشی صورت گرفت. در طی دوره رشد گندم، تعداد نوبت‌های آبیاری برای سطوح آبیاری D1, D2, D3 یکسان و برابر با ۱۰ نوبت بود. میزان آب ورودی به هر کرت توسط یک کنتور حجمی دقیق اندازه‌گیری و به داخل کرت هدایت شد. تاریخ و میزان آب مصرف‌شده برای هر یک از تیمارهای آبیاری در جدول زیر ارائه شده است. حجم آب مصرفی برای سطوح

جدول ۳- تاریخ، نوبت و میزان آب مصرفی برای هر تیمار

سطوح مختلف آبیاری			نوبت آبیاری	تاریخ آبیاری	روز پس از کاشت
D3 (mm)	D2 (mm)	D1 (mm)			
۳۰	۳۰	۳۰	اول	۹۶/۹/۲۶	۱
۵۳	۷۰	۸۷	دوم	۹۶/۱۲/۱۴	۹۳
۵۷	۷۶	۹۵	سوم	۹۶/۱۲/۲۸	۱۰۷
۶۸	۹۱	۱۱۴	چهارم	۹۷/۱/۱۲	۱۲۱
۷۳	۹۷	۱۲۱	پنجم	۹۷/۱/۲۶	۱۳۵
۶۷	۹۰	۱۱۳	ششم	۹۷/۲/۹	۱۴۹
۶۰	۸۰	۱۰۰	هفتم	۹۷/۲/۲۳	۱۶۳
۴۰۸	۵۳۴	۶۶۰	(mm)		جمع
۴۰۸۰	۵۳۴۰	۶۶۰۰	(m3/ha)		

در مدل AquaCrop تمایزی بین بهره‌وری آب بیوماس (WP) و بهره‌وری آب تبخیر و تعرق یافته (WPET) یا بهره‌وری آب مصرفی (WUE) قائل شده است. بهره‌وری آب بیوماس (WP) اشاره دارد به مقدار بیوماس تولیدشده به ازای مقدار آب تعرق یافته به وسیله گیاه که بیانگر رابطه ۴ و ۵ است. این مفهوم به مدل اجازه می‌دهد تا مقدار بیوماس (B) را از مجموع مقدار آب تعریق یافته ($\sum Tr$) تخمین بزند.

$$B = WP * \sum Tr \quad 4$$

$$WP = \frac{\text{biomass produced}}{\text{water transpired}} \text{ kg(biomass)/m}^3(\text{Tr}) \quad 5$$

بهره‌وری آب _ عملکرد گیاهان توسط مدل AquaCrop عبارت‌اند از: محصول (عملکرد دانه Y) تولیدشده و تبخیر و تعرق (ET) گیاه دارد.

$$WP_{ET} = \frac{\text{yield produced}}{\text{water evapotranspired}} \text{ kg(yield)/m}^3(\text{ET}) \quad 6$$

به صورت کلی تغییرات اساسی صورت گرفته جهت شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان توسط مدل AquaCrop عبارت‌اند از:
۱- تأثیر شاخص برداشت (HI) در تخمین میزان بیوماس نهایی جهت محاسبه عملکرد محصولات لحاظ شده است.

۲- در این مدل مقدار تبخیر و تعرق گیاهی از هم تفکیک شده و به صورت تبخیر از سطح خاک و تعرق روزنه‌ای در محاسبه عملکرد نهایی در نظر گرفته شده است. از آنجایی که در ابتدای رشد گیاهان (مرحله اولیه) سطح پوششی گیاهان کم است، بنابراین 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 رابطه ریچی^۱ (۱۹۷۲) استفاده شده است. برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از مدل CropWat با استفاده از داده‌های هواشناسی و مزرعه‌ای استفاده گردید (شکل ۱).

نقش تابش خورشید در هر دو فرآیند تعرق گیاه و جذب کربن، مسیر مشترک جهت انجام عمل تعرق گیاه (روزنه‌ها) و جذب دی‌اکسید کربن (CO_2)، رابطه بین جذب و تنفس در گیاه و همان طوری که در رابطه ۱ مشاهده می‌گردد، در این مدل از پارامتر کارایی مصرف آب (WP) در تخمین مقدار بیوماس استفاده شده است. به طوری که: WP: کارایی مصرف آب ($g \text{ m}^{-2} / \text{mm}^{-1}$)، T_c : مقدار تعرق گیاه (mm/day^{-1})

$$WP = \frac{\text{Biomass}}{\sum T_c} \quad 1$$

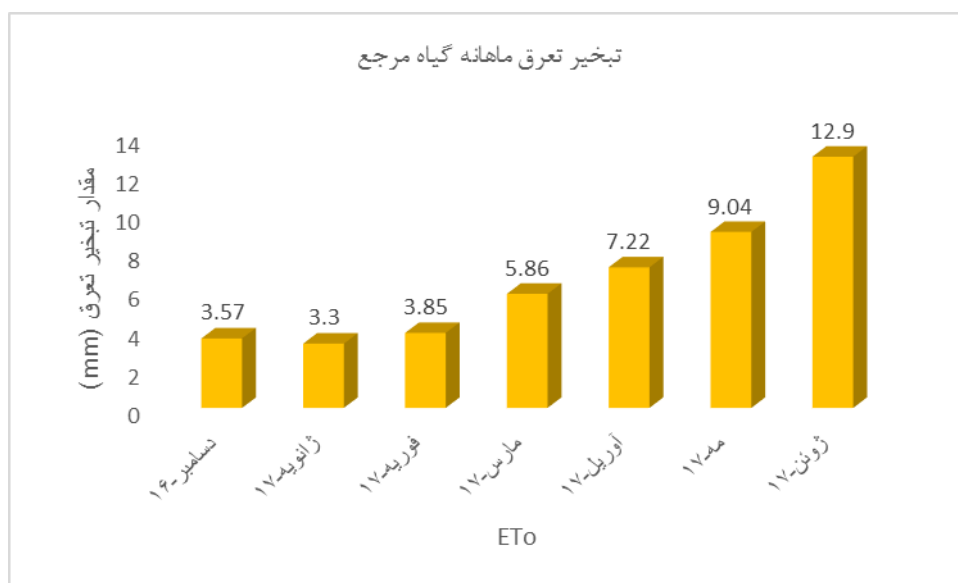
در اقلیم‌های مختلف مقدار WP توسط Sinclair و Tanner در سال ۱۹۸۳ برای بسیاری از گیاهان محاسبه شده است، لیکن با توجه به متغیر بودن مقدار آن در شرایط مختلف، شبیه‌سازی میزان عملکرد و از بین بردن تغییرات اقلیمی اثرگذار بر این پارامتر (تبخیر تعرق گیاه مرجع (ET_o) و غلظت دی‌اکسید کربن) پارامتر WP نرمال‌سازی می‌گردد. در نتیجه گیاهان در گروه‌های مشابه از لحاظ کربن ۳ و ۴ (C3, C4) تقسیم‌بندی می‌گردند. در این صورت WP (کارایی مصرف آب نرمال شده) در مدل AquaCrop از رابطه ۲ زیر حاصل می‌گردد.

$$WP^* = \left[\frac{\text{Biomass}}{\sum \left(\frac{T_c}{ET_0} \right)} \right]_{CO_2(2000)} \quad 2$$

بدین ترتیب مقدار بیوماس از رابطه ۳ قابل تخمین می‌باشد. به طوری که:

WP: کارایی مصرف آب نرمال شده توسط تبخیر و تعرق گیاه مرجع و غلظت دی‌اکسید کربن (gm^{-2} یا ton/ha)، ET_o: تبخیر و تعرق مرجع (mm/day)، T_c : مقدار تعرق گیاه (mm/day^{-1})

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



شکل ۱- میزان تبخیر تعرق گیاه مرجع به صورت ماهانه از ابتدای کاشت تا زمان برداشت

اجرای مدل

اجرای مدل ممکن است به صورت منفرد یا چندگانه صورت گیرد که انتخاب آن به عهده کاربر می‌باشد. با اجرای چندگانه کاربر می‌تواند اثر تغییر آب و هوایی در سال‌های مختلف را بر توسعه و تولید محصول مشاهده کند. البته این نوع اجرای مدل برای گیاهان مختلف در سال‌های متمادی نیز اجرا می‌شود. پس از اجرای برنامه، خروجی‌های مدل به صورت نمودار یا عدد و به صورت روزانه، ده‌روزه و با ماهیانه ارائه می‌گردد. خروجی مدل شامل صفحات آب خاک، گیاه، اتمسفر، پروفیل آب خاک، پارامترهای بیلان آب خاک و محصول تولیدشده می‌باشد.

برای تجزیه تحلیل آماری صفات در این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Exel-macro به کمک آزمون ANOVA و مقایسه‌های میانگین اثرات اصلی با استفاده از آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها و نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار EXCEL 2013 ترسیم شد. در این تحقیق به منظور ارزیابی نتایج مدل از شاخص آماری R^2 ، $RMSE$ ، $NRMSE$ ، ME ، EF ، CRM و NSE مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت مدل AquaCrop

نتایج آنالیز حساسیت مدل AquaCrop برای برخی پارامترهای ورودی به منظور شبیه‌سازی عملکرد محصول گندم نشان می‌دهد که مدل نسبت به زمان شروع جوانه‌زنی، حداکثر عمق مؤثر ریشه، زمان رسیدن به ماکزیمم عمق ریشه، دمای پایه رشد و حد آستانه بالای دما حساسیت ندارد از طرف دیگر حساسیت مدل نسبت به پوشش کانوپی اولیه ($CC0$) تراکم کشت، ضریب رشد کانوپی (CGC)، ضریب کاهش کانوپی (CDC) و زمان شروع دوره کاهش حساسیت کم است، بنابراین خطای حاصل از اندازه‌گیری این داده‌ها قابل چشم‌پوشی است. این در حالی است که حساسیت مدل نسبت به تغییرات حداکثر پوشش گیاهی، زمان رسیدن به حداکثر پوشش گیاهی، زمان برداشت و رسیدگی فیزیولوژیکی، ضریب گیاهی مربوط به تعرق ($KCn1$)، بهره‌وری آب نرمال شده (WP) و شاخص برداشت مرجع (II) بیشتر از سایر پارامترها است. از این رو بایستی این داده‌ها با دقت بیشتری اندازه‌گیری شوند زیرا در غیر این صورت خطای قابل توجهی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل به وجود می‌آید، بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که حساسیت مدل به پارامترهای ورودی تابع شرایط مزرعه‌ای نوع گیاه و اقلیم منطقه بوده ولی باین وجود در اکثر تحقیقات، میزان حساسیت مدل نسبت به پارامترهای بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*)، ضریب تعرق گیاهی (KC_{ir}) و شاخص برداشت مرجع (HI) متوسط به بالا گزارش شده است. بر همین اساس طبق

- 1- Normal Root Mean Squared Error
- 2- Root Mean Squared Error
- 3- R Squared
- 4- Mean Error
- 5- Ejection Fraction
- 6- Residual Coefficient
- 7- Nash-Sutcliffe

مدل، میزان NRMSE، d و R^2 برای شاخص سطح برگ به ترتیب برابر با ۰/۹۶/۸، ۰/۹۱ و ۰/۲/۲۸، ۱ و ۱ گزارش شده است.

از روی مقادیر معیارهای ارزیابی به دست آمده عملکرد دانه و بیوماس در تنش ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عملکرد و بیوماس تولیدی تنش ۷۵ درصد نیاز آبی می‌توان بیان نمود که مقادیر NRMSE که به نوعی کارایی مدل را در محاسبه عملکرد دانه در این سطوح تنش نشان می‌دهد کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار NRMSE میانگین تنش‌های ۱۰۰ و ۷۵ درصد ارقام افق، روشن و نارین به ترتیب به برآورد پارامترهای عملکرد دانه و بیوماس تولید شده رقم افق (۰/۰۸۱ درصد) و (۶/۹۸ درصد)، رقم روشن (۰/۷۳ درصد) (۲/۲۲ درصد) و رقم نارین (۱/۵۱ درصد) (۵/۲۴ درصد) مشاهده شد. همچنین در خصوص کارایی مصرف آب مقدار خطای نسبی برای کلیه ارقام کشت شده به ترتیب در تنش ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۱۰/۸۱ و ۷/۴۷ درصد در مرحله واسنجی به دست آمد.

نتایج به دست آمده از صحت‌سنجی مدل

پس از مرحله واسنجی، کارایی مدل و صحت نتایج به دست آمده داده‌های واسنجی شده تنش‌های ۱۰۰ و ۷۵ برای تنش ۵۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، مدل AquaCrop بر اساس پارامترهای آنالیز حساسیت شده در مدل اجرا شد. در جدول ۶ نتایج صحت‌سنجی پارامترهای عملکرد دانه، بیوماس و کارایی مصرف آب ارائه شده است. با توجه به مقادیر شاخص‌های آماری جدول ۵ می‌توان بیان نمود که مدل AquaCrop به خوبی عملکرد دانه و بیوماس را برای ارقام افق، روشن و نارین در منطقه بیرجند شبیه‌سازی نموده است. در فرآیند صحت‌سنجی برای رقم افق جدول ۷ و جدول ۸، کمترین و بیشترین مقدار NRMSE به ترتیب در برآورد پارامترهای عملکرد دانه (۱/۴۹) و بیوماس (۳/۷۷ درصد) مشاهده شد. مقادیر صحت‌سنجی شده رقم روشن در جدول ۷ و جدول ۸ برای کمترین و بیشترین مقدار NRMSE به ترتیب در برآورد بیوماس تولید شده (۰/۹۶ درصد) و عملکرد دانه (۳/۱۴ درصد) و کمترین و بیشترین مقدار NRMSE رقم نارین به ترتیب در برآورد عملکرد دانه (۰/۰۸۵ درصد) و بیوماس تولید شده (۱۱/۸۸ درصد) مشاهده گردید. نتایج به دست آمده از صحت‌سنجی مدل AquaCrop نشان می‌دهد مدل در برآورد عملکرد دانه NRMSE کمتر در نتیجه دقت بیشتری در محاسبه عملکرد دانه نسبت به بیوماس تولیدی به ما می‌دهد. همچنین مقدار خطای نسبی کارایی مصرف آب بین مقدار شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای تنش ۵۰ درصد به مقدار ۸/۶۹ درصد بود. نتایج پژوهش سعادت و همکاران (۱۳۹۵) در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری در منطقه مشهد

گزارش سالمی^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم نسبت به $KCT\ WP^*$ و دمای هوا حساسیت متوسطی دارد. در حالی که بابا زاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱)، نشان دادند که مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول گیاه سویا نسبت به پارامترهای بهره‌وری آب نرمال شده، شاخص برداشت (HI)، زمان پر شدن غلاف و زمان گلدهی حساسیت بالایی دارد. تحقیقات محمدی و همکاران (۱۳۹۴)، نیز نشان داد که مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم نسبت به پارامترهای تراکم کشت، ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC)، زمان سبز شدن بذرها، زمان رسیدن به ماکزیمم پوشش، زمان رسیدن به گلدهی، طول دوره گلدهی، حد آستانه بالای دما حساسیت کمی دارد و حساسیت مدل نسبت به تغییرات HI WPKCI و دمای ماکزیمم هوا بالا و بیشتر از سایر پارامترهاست. لازم به ذکر است تهیه این پارامترها برای تنش ۱۰۰ و ۷۵ در بخش واسنجی مدل یکسان می‌باشد.

نتایج حاصل از واسنجی مدل

مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی استفاده می‌شوند، در واقع بیان ریاضی ساده‌شده‌ای از یک سیستم زراعی واقعی بوده و در عمل دربرگیرنده همه فرآیندهای بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی دخیل در سیستم‌های زراعی نمی‌باشند. به همین دلیل ضرایب و روابط ریاضی به کاررفته در آن‌ها در یک دامنه مشخص تا حدودی تحت تأثیر شرایط محیطی هر منطقه خواهد بود. در چنین شرایطی به منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل، فرآیند واسنجی باید با هدف انطباق بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده صورت گیرد. در این تحقیق، از داده‌های مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده برای تنش‌های ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ جهت واسنجی مدل AquaCrop استفاده شد. در این بخش مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل در جدول ۴ و ۵ برای عملکرد دانه، عملکرد بیوماس و کارایی مصرف آب در دو سطح ۱۰۰ و ۷۵ و ارقام کشت شده آمده است. جداول ۴ و ۵ به ترتیب نتایج واسنجی پارامترهای مذکور را برای تنش ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی را نشان می‌دهند.

سعادت و همکاران (۱۳۹۵) در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری در منطقه مشهد گزارش کردند که میزان $RMSE$ ، $NRMSE$ و R^2 برای عملکرد دانه در مرحله واسنجی مدل به ترتیب برابر با ۳۷۶ (کیلوگرم در هکتار)، ۷ درصد و ۰/۶۳ می‌باشد. نتایج پژوهش کلانکی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی اثر تلفیق مدیریت آبیاری و تاریخ کشت بر کارایی مصرف آب ذرت با استفاده از مدل DSSAT نشان داد که در مرحله واسنجی

کل حدود ۵ درصد و برای مراحل فنولوژی گیاه در حدود ۲ درصد گزارش شده است. ضریب تبیین نیز به‌غیر از شبیه‌سازی مرحله گرده‌افشانی (۰/۲۵) برای بقیه موارد بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۴ است (دلقتدی، ۱۳۹۱).

نشان داد که میزان RMSE، NRMSE و R^2 برای عملکرد دانه در مرحله صحت‌سنجی مدل به ترتیب برابر با ۵۴۱ (کیلوگرم در هکتار)، ۱۰ درصد و ۰/۴۷ بود. در پژوهشی دیگر، میزان RMSE در مرحله صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی حداکثر شاخص سطح برگ حدود ۶ درصد، برای عملکرد دانه و ماده خشک

جدول ۴- مقادیر مربوط به پارامترهای گیاهی در تیمار تنش رطوبتی ۱۰۰ درصد و ارقام گندم در مرحله واسنجی مدل AquaCrop

ارقام	WP kg/mm/ha		Biomass, t/ha		Yield, t/ha	
	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
S1/افقی	۱۱/۴۹	۱۰/۶۹	۷/۴۷	۶/۹۵	۲/۳۴	۲/۳۳
S1/افقی	۱۳	۱۲/۴۰	۸/۴۵	۸/۰۶	۲/۹۶	۳/۰۳
S1/افقی	۱۱/۲۶	۱۰/۲۵	۷/۳۲	۶/۶۶	۲/۲۲	۲/۰۱
S2/شروشن	۱۲/۸۰	۱۳/۱۲	۸/۳۲	۸/۵۳	۳/۳۰	۳/۳۵
S2/شروشن	۱۱/۶۳	۱۰/۰۸	۷/۵۶	۶/۵۵	۲/۹۳	۲/۸۰
S2/شروشن	۱۱/۸۳	۱۱/۶۷	۷/۶۹	۷/۵۹	۲/۷۶	۲/۸۰
S3/نارین	۱۱/۹۵	۱۲/۳۶	۷/۷۷	۸/۰۳	۲/۳۳	۲/۶۰
S3/نارین	۱۳/۱۷	۱۵/۹۶	۸/۵۶	۱۰/۳۷	۳/۰۲	۳/۲۵
S3/نارین	۱۰/۸۱	۹/۹۳	۷/۰۳	۶/۴۵	۱/۸۹	۲/۲۸

جدول ۵- مقادیر مربوط به پارامترهای گیاهی در تیمار تنش رطوبتی ۷۵ درصد و ارقام گندم در مرحله واسنجی مدل AquaCrop

ارقام	WP kg/mm/ha		Biomass, t/ha		Yield, t/ha	
	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
S1/افقی	۱۱/۲۶	۸/۴۲	۶/۲۴	۴/۶۶	۱/۸۶	۱/۷۷
S1/افقی	۹/۴۰	۷/۴۶	۵/۲۱	۴/۱۳	۱/۶۶	۱/۵۸
S1/افقی	۱۰/۶۳	۹/۵	۵/۸۹	۵/۲۶	۱/۹۵	۱/۸۲
S2/شروشن	۱۱/۱۰	۹/۴۴	۶/۱۵	۵/۲۳	۱/۸۲	۱/۵۱
S2/شروشن	۱۱/۱۳	۱۱/۳۴	۶/۱۷	۶/۲۸	۱/۹۶	۲/۲۸
S2/شروشن	۹/۹۲	۹/۱۵	۵/۵	۵/۰۷	۲/۰۱	۱/۹۳
S3/نارین	۹/۰۶	۶/۷۲	۵/۰۲	۳/۷۲	۱/۲۶	۰/۹۷
S3/نارین	۹/۶۱	۸/۲۰	۵/۳۲	۴/۵۴	۱/۳۸	۱/۵۱
S3/نارین	۸/۱۵	۷/۵۱	۴/۵۲	۴/۱۶	۰/۹۲	۱/۰۱

جدول ۶- مقادیر مربوط به پارامترهای گیاهی در تیمار تنش رطوبتی ۵۰ درصد و ارقام گندم در مرحله صحت‌سنجی مدل AquaCrop

ارقام	WP kg/mm/ha		Biomass, t/ha		Yield, t/ha	
	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
S1/افقی	۱۱/۸۵	۱۰/۱۱	۵/۳۳	۴/۵۵	۱/۴۱	۱/۶۸
S1/افقی	۱۰/۱۷	۹/۰۳	۴/۵۸	۴/۰۶	۱/۳۲	۱/۲۶
S1/افقی	۱۰/۴۴	۱۰/۳۱	۴/۷۰	۴/۶۴	۱/۵۲	۱/۶۲
S2/شروشن	۱۳/۲۵	۱۲/۳۴	۵/۹۶	۵/۵۵	۱/۷۲	۲/۱۴
S2/شروشن	۱۲/۶۲	۱۸/۸۷	۵/۶۸	۸/۴۹	۱/۸۶	۲/۸۵
S2/شروشن	۹/۱۱	۷/۹۸	۴/۱۰	۳/۵۹	۱/۵۲	۱/۴۸
S3/نارین	۷/۶۹	۴/۹۵	۳/۴۶	۲/۲۲	۰/۶۹	۰/۷۳
S3/نارین	۹/۴۰	۷/۸۵	۴/۲۳	۳/۵۳	۰/۷۷	۰/۸۳
S3/نارین	۸/۵۷	۶/۳۴	۳/۸۶	۲/۸۵	۰/۵۰	۰/۶۷

جدول ۷- معیارهای ارزیابی در تیمار ۵۰ درصد تنش رطوبتی و ارقام گندم در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد دانه در مدل AquaCrop

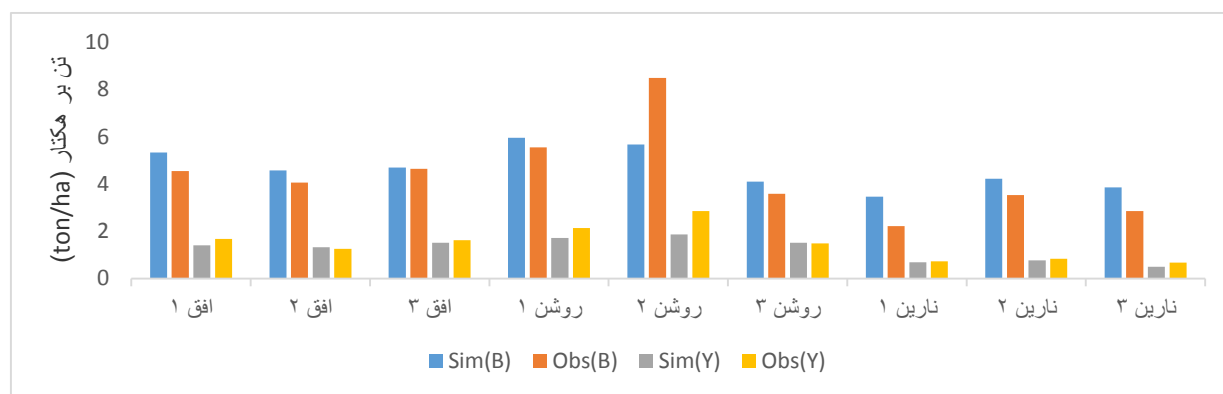
ارقام	NRMSE(%)	ME (%)	EF	CRM	R ²	RMSE	RE	NSE
S1/افق	۱/۴۹	-۰/۱	۰/۱۸	-۰/۰۷	۰/۶۱	۰/۱۷	-۰/۰۲	۰/۱۸
S2/روشن	۳/۱۴	-۰/۴۶	-۰/۲۳	-۰/۲۷	۰/۹۸	۰/۶۲	-۰/۰۸	-۰/۲۳
S3/نارین	۰/۰۸	-۰/۰۹	-۱/۵۲	-۰/۱۴	۰/۸۸	۰/۱	-۰/۰۵	-۱/۵۲

جدول ۸- معیارهای ارزیابی در تیمار ۵۰ درصد تنش رطوبتی و ارقام گندم در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد دانه در مدل AquaCrop

ارقام	NRMSE(%)	ME (%)	EF	CRM	R ²	RMSE	RE	NSE
S1/افق	۳/۷۷	۰/۴۵	-۳/۳۶	-۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۵۴	۰/۰۳	-۳/۵۶
S2/روشن	۰/۹۶	-۰/۶۳	۰/۳۱	-۰/۱۲	۰/۵	۱/۶۶	-۰/۰۳	۰/۳۱
S3/نارین	۱۱/۸۸	۰/۹۷	-۲/۵۱	۰/۲۵	۰/۹۹	۱	۰/۰۸	-۲/۵۱

نتایج مربوط به جدول ۶ به صورت نمودار میله‌ای در شکل ۲ برای هر تکرار از ارقام در سطح تنش ۵۰ درصد می‌توان مشاهده نمود که در این نمودار به ترتیب Sim(Y) و Obs(Y) مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه برای وزن بیوماس در واحد تن بر هکتار است.

نتایج مربوط به جدول ۶ به صورت نمودار میله‌ای در شکل ۲ برای هر تکرار از ارقام در سطح تنش ۵۰ درصد می‌توان مشاهده نمود که در این نمودار به ترتیب Sim(Y) و Obs(Y) مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه برای عملکرد گندم و



شکل ۲- مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده مزرعه‌ای برای عملکرد و بیوماس در سطح تنش ۵۰ درصد نیاز آبی

در این پژوهش به منظور اطمینان از مقدار صحت‌سنجی شده، میانگین عملکرد دانه رقم روشن کشت شده در این تحقیق با مقدار عملکرد این رقم در سال زراعی ۱۳۸۷ با شوری آب یکسان و یکسان فرض نمودن حاصلخیزی خاک و مقدار آب آبیاری تنها با تغییر داده‌های هواشناسی برای مدل صحت‌سنجی شد (زمانی و همکاران ۱۳۸۷). نتایج میانگین شاخص‌های ارزیابی صحت‌سنجی در سطح تنش آبی ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی برای رقم روشن در جدول ۹ آمده است. نتایج شاخص NRMSE نشان داد که مدل برای سال زراعی و داده‌های هواشناسی متفاوت برای شبیه‌سازی عملکرد کاربردی و دقیق هست.

در این پژوهش به منظور اطمینان از مقدار صحت‌سنجی شده، میانگین عملکرد دانه رقم روشن کشت شده در این تحقیق با مقدار عملکرد این رقم در سال زراعی ۱۳۸۷ با شوری آب یکسان و یکسان فرض نمودن حاصلخیزی خاک و مقدار آب آبیاری تنها با تغییر داده‌های هواشناسی برای مدل صحت‌سنجی شد (زمانی و همکاران ۱۳۸۷). نتایج شاخص NRMSE نشان داد که مدل برای سال زراعی و داده‌های هواشناسی متفاوت برای شبیه‌سازی عملکرد کاربردی و دقیق هست.

جدول ۹- معیارهای ارزیابی میانگین تنش ۱۰۰ و ۵۰ درصد تنش رطوبتی برای رقم روشن در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد دانه در مدل AquaCrop

رقم	NRMSE(%)	ME (%)	EF	CRM	R ²	RMSE	RE	NSE
روشن S2	۹/۴۳۲	-۱	۰/۶۲۴	-۰/۱۱	۰/۹۹۷	۰/۵۷۹	-۰/۰۰۳	۰/۶۲۴

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های یک سال زراعی ۱۳۹۶-

۱۳۹۷ برای دو رقم افق و نارین و دو سال زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۹۶ برای رقم روشن، مدل گیاهی AquaCrop در واحد مزرعه دانشگاه

4.5DSSAT در شبیه‌سازی رشد عملکرد و مراحل فنولوژی گندم در شرایط مدیریت‌های مختلف تخصیص آب در مزرعه (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸(۲): ۹۱-۸۲.

زمانی، غ.، شهیدی، ع. کشکولی، ح. ع. و حسینی س. م. ۱۳۸۷. اثر برهم‌کنش شوری و کم‌آبایی بر عملکرد کمی و کیفی دو رقم گندم: دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه چمران.

سعادت، ز.، دلبری، م. امیری، ا. پناهی، م. رحیمیان، م. ح. و قدسی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری. نشریه حفاظت منابع آب‌و خاک، ۵(۳۵): ۷۳-۸۵.

سلیمانی، ع. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم با استفاده از مدل ET-HS. تنش‌های محیطی در علوم زراعی، دوره ۹، شماره ۳۹(۳): ۲۱۵-۲۰۵.

عابدین پور، م. مدیریت آب در کشاورزی با مدل AquaCrop، جهاد دانشگاهی دانشگاه اصفهان.

کلانکی، م. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر مدیریت آبیاری در افزایش بهره‌وری آب گیاه ذرت با در نظر گرفتن تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل، زابل.

کلانکی، م.، کاراندیش، ف. و صابرعلی، س. ف. ۱۳۹۶. اثر تلفیق مدیریت آبیاری و تاریخ کشت بر کارایی مصرف آب ذرت با استفاده از مدل DSSAT. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۴): ۵۲۲-۵۰۹.

کوچکی، ع. ۱۳۷۰. مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی. انتشارات آستان قدس رضوی.

گلکار حمزبی یزد، ح. و فرداد، ح. ۱۳۸۱. تحلیل اقتصادی کم‌آبایی گندم در شرایط کرج. علوم کشاورزی ایران. ۳۳(۲): ۳۰۵-۳۱۲.

محمدی، م.، قهرمان، ب. داوری، ک. انصاری، ح. و شهیدی، ع. ۱۳۹۴. اعتبارسنجی مدل AquaCrop به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم زمستانه تحت شرایط هم‌زمان تنش شوری و خشکی. نشریه آب‌و خاک علوم و صنایع کشاورزی، ۲۹(۱): ۸۴-۶۷.

محمدی، م.، داوری، ک. قهرمان، ب. انصاری، ح. و حق‌وردی، ا. ۱۳۹۴. واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش هم‌زمان شوری و خشکی (مطالعه موردی: مشهد). نشریه پژوهش آب در کشاورزی

بیرجند واسنجی شد. پارامترهای واسنجی شده به توضیح در این مقاله ذکر گردید ولی هدف اصلی در این مقاله صحت‌سنجی و اثبات کاربردی بودن این مدل برای منطقه است.

در این تحقیق سه رقم گندم تحت سه تنش رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به این که برای هر تیمار آبی سه رقم مختلف گندم وجود داشت. بنابراین مدل با استفاده از یک تیمار آبی برای هر سه رقم در تنش رطوبتی ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه واسنجی و در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی این واسنجی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. همچنین با استفاده از داده‌های رقم روشن که در سال زراعی ۱۳۸۷ برای دو تنش ۱۰۰ و ۵۰ درصد صحت‌سنجی شد. نتایج نشان داد که مدل با این روش و داده‌های یک سال زراعی به‌خوبی واسنجی و صحت‌سنجی می‌شود. به طوری که مدل توانست مقادیر عملکرد و زیست‌توده آب را برای سه رقم گندم تحت تنش رطوبتی با دقت خوبی برآورد نماید. همچنین در سطوح کم‌آبایی مدل نیز توانست به‌خوبی شبیه‌سازی کند.

مقدار شاخص NRMSE عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای میانگین تنش‌های رطوبتی ۱۰۰ و ۷۵ درصد در مرحله واسنجی ارقام افق، روشن و نارین به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۸۸ و ۱/۵۱ درصد به دست آمد. این مقادیر در صحت‌سنجی مدل در تنش ۵۰ درصد به ترتیب ۱/۴۹، ۳/۱۴ و ۰/۰۸ درصد مشاهده شد. نتایج شاخص NRMSE نشان داد که مدل برای سال زراعی و داده‌های هواشناسی متفاوت برای شبیه‌سازی عملکرد کاربردی و دقیق می‌باشد.

با توجه به نتایج، مدل توانست با کمترین تعداد تیمار تنش رطوبتی، واسنجی و عملکرد و بیوماس را با دقت نسبتاً بالایی بر هر سه رقم کشت‌شده، شبیه‌سازی نماید. اما در این حالت دقت مدل نسبت به حد واسط تنش رطوبتی یعنی تنش ۷۵ درصد نیاز آبی کمی کاهش یافت. به‌طور کلی با توجه به‌سادگی و دقت بالای مدل AquaCrop و نیاز به حداقل داده‌های ورودی که به‌آسانی قابل‌اندازه‌گیری می‌باشند، می‌توان از این مدل جدید برای ارزیابی سناریوهای مختلف آبیاری باکیفیت‌های مختلف برای ارقام جدید در هر منطقه در جهت بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت آبیاری برای گیاه گندم استفاده نمود.

فهرست منابع

بابازاده، ح. و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم-آبایی سویا. نشریه آب‌و خاک علوم و صنایع کشاورزی. ۲۶(۲): ۳۳۹-۳.

دلقتدی، م.، اندرزیان، ب.، برومند نصب، س.، مساح بوانی، ع. و جواهری، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه

Journal of Agricultural Sciences 34: 1-4.

(علوم و صنایع کشاورزی) ۲۹۵-۲۷۷: (۳)۲۹.

- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., and Jacobs, C.M.J. 2009. SWAP version 3.2. Theory description and user manual (No. 1649 (02)). Alterra.
- Kuo, S.F., Lin, B.J., and Shieh, H.J. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. *Agricultural Water Management* 82:433-451.
- Dastfal, M., Brati, V., Navabi, F., and Haghghat Nia, H. 2009. Effect of Terminal Drought Stress on Grain Yield and Its Components in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes in Dry and Warm Conditions in South of Fars Province. *Seed and Plant Production Journal* 25(3):329-344.
- Mohajerani, H., Mosaedi, A., Kholghi, M., Maftah Halghi, M., and Saad Aldin, A. 2011. Estimating crop water requirement of wheat by Cropwat model in Kordkouy-Golestan province. National Conference on Water Scarcity.
- Osamu, T., Yoshida, K., Hiroaki, S., Katsuhiko, H. and Hajime Tangi, H. 2005. Estimation of irrigation water using cropwat model at KM35 project site, in Savannakhet, LAO, PDR. Proceedings of the International Symposium on Role of Water Sciences in Transboundary River Basin Management. 10-12 March. Ratchathani, Thailand.
- Salemi, H., Soom, M.A.M., Lee, T.S., Mousavi, S.F., Ganji, A., and Yusoff, M.K. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research*, 610: 2204- 2215.
- Singh, R. 2004. Simulation on direct and cyclic use of saline waters for sustaining Cotton-Wheat in a semi-arid area of north-west India. *Agricultural Water Management*, 66, 153-162.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., and Fereres, E. 2009. AquaCropThe FAO crop model to simulate yield response to water: I concepts and underlying principles. *Agronomy Journal* 101: 426-437
- Zong-Ming, W.A.N.G., Zhang, B., Xiao-Yan, L. I., Kai-Shan, S.O.N. G., Dian-Wei, L. I. U., & Zhang, S. Q. 2006. Using CropSyst to Simulate Spring Wheat Growth in Black Soil Zone of Northeast China. *Pedosphere* 16(3):354-361.
- مؤمنی، ر.، بهبهانی، م.ر. نظری فر، م. ه. و آزادگان، ب. ۱۳۹۰. ارزیابی سناریوهای افزایش بهره‌وری مصرف آب گندم در حوزه کرخه با استفاده از آنالیزهای مدیریتی مدل رشد گیاهی CropSyst. مدیریت آب و آبیاری، ۱(۱): ۲۹-۴۰.
- Aghayari, F., KHALILI, F., and ARDAKANI, M.R. 2016. Effect of deficit irrigation, partial irrigation and superabsorbent polymer on yield and yield components of corn (cv. KSC703).
- Akram, M. 2011. Growth and yield components of wheat under water stress of different growth stages. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 36(3): 455-468.
- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A., and Rahanama, A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agric. Water Manag.* 100:1-8
- Budak, H., Kantar, M., and Kurtoglu, K.Y. 2013. Drought tolerance in modern and wild wheat. *Scientific World Journal*.
- Dettoni, M., Cesaraccio, C., Motroni, A., Spano, D. and Duce, P. 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field Crops Research* 120:179-188.
- Duggan, B.L., and Fowler, D.B. 2006. Yield structure and kernel potential of winter wheat on the Canadian prairies. *Crop Science* 46(4): 1479-1487.
- F.A.O. Statistical database. Available online: [Http//www.FAO.Org](http://www.FAO.Org). 2016.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29:185.
- Farshadfar, E., Rashidi, M., Mahdi, M.J., and Zali, H. 2013. GGE biplot analysis of genotype. Environment interaction in chickpea genotypes. *Eur. J. Exp. Biol.* 3:417.
- Hang, A. N., & Miller, D. E. 1983. Wheat Development as Affected by Deficit, High Frequency Sprinkler Irrigation 1. *Agronomy Journal* 75(2): 234-23.
- Hussain, A., Ahmad, M.M.A., Wajid, A., and Ahmad, Z. 1997. Effect of irrigation during various development stages on yield, components, yield and harvest index of different wheat cultivars. *Pakistan*

Calibration and Verification AquaCrop Plant Model to Simulate the Performance of Three Different Wheat Varieties under Drought Stress

A.H. Ghadirian¹, M. Yaghoob Zadeh^{*2}, G.R. Zamani³, A. Shahidi⁴

Received: Jun.04, 2020

Accepted: Sep.13, 2020

Abstract

Optimal use of available water resources and their management is very important according to modern science. This has led to the importance of using plant models to study the effects of low water on agricultural yields. In order to investigate the effect of moisture stress on yield and growth traits in three cultivars of horizon, clear and narin and weeding and validation of vegetative model AquaCrop for these cultivars were performed in 96-97 crop year on a research farm located in Birjand. The research was conducted in the form of a factorial randomized complete block design with 6 treatments and three replications. Irrigation treatments included 100 (control treatment), 75 (medium stress) and 50 (severe stress) percentage of wheat water requirement and 3 other treatments related to two new cultivars of Ofogh and Narin and one old and native cultivar Roshan. The results of the mean comparison of the mean mean of the simple effect of moisture stress, the simple effect of cultivars and the interaction effect of stress on different cultivars were significant in different traits. After analyzing and comparing the average plant traits of the AquaCrop plant model for stresses of 100 and 75%, the water requirement was measured in two parameters of grain yield and biomass. After the validation stage, the model validation model was performed with 50% water stress. The results of the model validation showed that the model calculations showed a close and acceptable simulation value compared to the measured value of grain performance according to NRMSE and R^2 evaluation indicators. The NRMSE index value of the simulated and measured grain mass for the mean moisture stresses of 100 and 75% in the horizontal and horizontal digits of Rosin, Narin and Narin cultivars was 0.99, 0.88 and 1.51%, respectively. These values were observed in the model validation in 50% stress to 1.49, 3.14 and 0.88%, respectively. Also, to ensure the accuracy of the model, using the measured performance data, the bright figure in the 2009-2010 crop years was validated by changing the re-meteorological data. According to the values calculated in the statistical indicators, it can be concluded that the model can provide us with an acceptable efficiency for measuring different wheat cultivars, which is very important in the region due to the high and increasing number of different wheat cultivars.

Keywords: AquaCrop model, Calibration, Moisture stress, Wheat varieties, Wheat yield

1- M.Sc. Department of Water Engineering, University of Birjand

2 and 4- Department of Water Science and Engineering, Birjand University

3- Department of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Birjand University

(*- Corresponding Author Email: M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir)