نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۱

ISSN 2251-7480

واسنجی مدلCERES-Barley با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تحت شرایط کم‌آبیاری

بهنام آبابایی[1*]، مهدی سرائی تبریزی[2]، بهمن فرهادی بانسوله[3]، تیمور سهرابی[4] و فرهاد میرزایی[5]

۱*) دانش‌آموخته دکتری؛ گروه مهندسی آبیاری و آبادانی؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران؛ نویسنده مسئول مکاتبات: behnam.ab@gmail.com

۲) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ تهران؛ ایران

۳) استادیار گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه رازی؛ کرمانشاه؛ ایران

٤) استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران

۵) استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰٤/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۳۰

چکیده

مدل‌های شبیه‌ساز رشد محصولات کشاورزی با هدف درک واکنش گیاهان به تغییر شرایط محیطی و ارزیابی صفات فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه در جهت بهبود عملکرد محصول و کمک به استفادهٔ بهینه از منابع آب و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. ارزیابی عملکرد این مدل‌ها پیش‌نیاز کاربرد آنها در ارزیابی راه‌کارهای مدیریتی مختلف می‌باشد. در این مطالعه، مدل گیاهی CERES-Barley از مدل‌های موجود در بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT (نسخهٔ ۴) با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس و مدل PEST واسنجی گردید. این مطالعه، شامل ۱۱ تیمار با سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای آبی شامل ۱۰۰ (T_{100})، ۹۰ (T_{90})، ۸۰ (T_{80})، ۷۰ (T_{70})، ۶۰ (T_{60})، ۵۰ (T_{50})، ۴۰ (T_{40})، ۳۰ (T_{30})، ۲۰ (T_{20}) و ۱۰ (T_{10}) درصد نیاز آبی گیاه بود. تیمار دیم نیز با دو آبیاری در زمان کاشت (۱۱ آبان) و اولین آبیاری بهاره (۲۰ فروردین) پیش از اعمال تنش (T_0) بود. نتایج نشان داد که مدل CERES-Barley می‌تواند تا تیمار T_{50} این مقادیر را با دقتی مناسب شبیه‌سازی نماید. مقدار آمارهٔ SRMSE در تیمارهای بین T_{100} تا T_{50} برای شبیه‌سازی عملکردهای دانه، کاه و کل به ترتیب برابر با ۵/۵٪، ۱۰/۹٪ و ۳/۶٪ بدست آمد. همچنین مقادیر R^2های مربوطه به ترتیب برابر با ۹۵٪، ۶۹٪ و ۹۳٪ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: جو؛ کم‌آبیاری؛ مدل‌سازی معکوس؛ واسنجی

مقدمه

کمبود آب یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی تلقی می‌گردد. لذا مطالعه و توسعهٔ راه‌کارهای مدیریتی مناسب برای افزایش کارایی مصرف آب و همچنین پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی تحت هریک از سناریوهای مدیریتی از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌منظور شناخت تأثیر راه‌کارهای مدیریتی مورد نظر بر تولید محصولات کشاورزی، مطالعات مزرعه‌ای مورد نیاز است. اما با توجه به زمان‌بر بودن و هزینه‌های قابل‌توجه چنین مطالعاتی، مدل‌های شبیه‌ساز

به‌عنوان ابزاری برای بررسی راه‌کارهایی که امکان بررسی آنها در همهٔ شرایط وجود ندارد توسعه داده شده‌اند (سرائی تبریزی، ۱۳۹۱). این مدل‌ها در سطح گسترده‌ای برای بهینه سازی مدیریت تولید محصولات زراعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین این مدل‌ها می‌توانند تأثیر تغییر اقلیم و تثبیت بلندمدت کربن خاک بر تولید گیاهان زراعی را شبیه‌سازی نموده و تمهیدات لازم برای سازگاری به این تغییرات را ارائه دهند(Hoogenboom *et al.*, 2010).

مدل‌های CERES که در بستهٔ نرم افزاری DSSAT گنجانده شده‌اند برای اهداف مختلف در سطح دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Hoogenboom *et al.*,2003; Jones *et al.*, 2003). مطالعات پیشین در سطح بین‌المللی، عملکرد موفق این مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک (Eitzinger *et al.*,2004) و عملکرد گندم (Tubiello *et al.*, 1999; Panda *et al.*, 2003) تحت شرایط تنش رطوبتی را ثابت کرده‌اند. کیانی و همکاران (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) با استفاده از مدل CERES-Wheat عملکرد شش رقم گندم را در دو منطقه مشهد و بیرجند شبیه‌سازی نمودند و نتایج ارزیابی نشان‌داد که مدل با توانایی بالایی می‌تواند مراحل فنولوژیک و نیز عملکرد را پیش‌بینی نماید. اندرزیان و همکاران (۱۳۸۷) مدل CERES-Wheat را در شرایط اقلیمی اهواز مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی ایشان نشان داد که مقدار RMSE محاسبه شده برای مراحل گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین برای تولید مادهٔ خشک و عملکرد دانه، در همهٔ آزمایش‌ها کم‌تر از ۱۰ درصد میانگین داده‌های مشاهداتی بوده است که نشان‌دهندهٔ توانایی بالای این مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی و عملکرد گندم می‌باشد. Savin و همکاران (۱۹۹۵) برای ارزیابی راه‌کارهای مدیریتی (تیمارهای مختلف، دو رقم گندم زودرس و متوسط رس و دو تاریخ کاشت، زودکاشت و دیرهنگام، در دو منطقه) جهت تولید گندم در پامپوس آرژانتین با استفاده از مدل CERES-Wheat و داده‌های اقلیمی روزانه در یک دوره ۲٤ساله گزارش نمودند که بدون محدودیت نیتروژن، حداکثرعملکرد از کاشت زود هنگام و رقم متوسط‌رَس به‌دست می‌آید، که عملکرد بیش‌تر این راه‌کار به علت منطبق شدن گیاه با مصرف آب بیش‌تر در طی دوره رشد گیاه بود. هرچندکه در سال‌های کم‌باران، این راه‌کار بهترین گزینه نبود و آنالیز پایداری عملکرد نشان‌داد که کاشت دیرهنگام با استفاده از رقم زودرس پایدارترین سیستم تولید تحت این شرایط است. بنایان و همکاران (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در طی فصل رشد گیاه (مراحل ۳ تا ۵ برگی، ظهور برگ پرچم و شیری شدن دانه) در چهار منطقه انگلستان به کمک مدل CERES-Wheat بیان داشتند که مدل در حد قابل قبولی عملکرد نهایی را در مراحل مختلف رشد گیاه پیش‌بینی می‌نماید. ملکیان و قیصری (۱۳۹۰) مدل CERESS-Maize را نسبت به ظرفیت زراعی[1] خاک در شبیه‌سازی غلظت نیترات و آمونیوم در لایه‌های مختلف خاک و اندام‌های گیاهی و همچنین میزان برداشت نیتروژن از خاک توسط گیاه ذرت علوفه‌ای در مزارع جنوب تهران تجزیه و تحلیل کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل در تخمین غلظت نیترات و آمونیوم خاک نسبت به تغییرات FC حساس بوده که این حساسیت در لایه‌های مختلف خاک متفاوت است. این مدل در تعیین میزان معدنی شدن نیتروژن، نیتریفیکاسیون و همچنین غلظت نیتروژن در گیاه نسبت به تغییرات FC دارای حساسیت کمی می‌باشد. دوکوهکی و همکاران (۱۳۹۱) کارایی و دقت بسته نرم‌افزاری DSSAT را در برآورد رطوبت پروفیل خاک تحت دو سطح آبیاری در مزرعه ذرت علوفه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به ماهیت حرکت آب در خاک و نتایج شاخص‌های آماری تحقیق، این مدل برای استفاده تحت شرایط کم آبیاری قابل توصیه است. ربیع و همکاران (۱۳۹۲) عملکرد مدل DSSAT در برآورد میزان

[1] Field Capacity

آبشویی نیترات از عمق توسعه ریشه ذرت و برداشت نیتروژن توسط گیاه در سطوح مختلف کود نیتروژنه و آب آبیاری را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس مقادیر شاخص‌های آماری، دقت مدل در سطح آبیاری کامل و سطح بیش آبیاری با افزایش کود نیتروژنی، افزایش یافت. همچنین در تیمارهای کم آبیاری، مدل مقدار تلفات نیترات را برابر مقدار واقعی شبیه‌سازی نمود.

با توجه به اهمیت مدل‌سازی در مطالعهٔ راه‌کارهای مدیریت آبیاری و تولید محصولات کشاورزی، ارزیابی عملکرد این مدل‌ها پیش‌نیاز کاربرد آنها در ارزیابی راه‌کارهای مدیریتی مختلف می‌باشد. لذا هدف از این مطالعه، واسنجی مدل CERES-Barley به‌عنوان یکی از مدل‌های موجود در بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد جو در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری می‌باشد. به این منظور، از روش مدل‌سازی معکوس و مدل PEST استفاده گردید. داده‌های مزرعه‌ای این تحقیق، از مطالعهٔ فرهادی‌بانسوله (۱۳۷۷) استخراج شده است.

مواد و روش‌ها

مدل‌های بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT

مدل‌های بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT توسط شبکه‌ای از محققین و در قالب پروژهٔ IBSNAT[1] (Jones *et al.*,1989; Jones *et al.*, 2003) ایجاد شده‌اند. این مدل‌ها به تصمیم‌گیران کمک می‌کنند که زمان و نیروی انسانی مورد نیاز برای تحلیل تصمیمات مدیریتی مختلف را کاهش دهند. DSSAT (نسخهٔ ٤) شامل ۲۰ مدل گیاهی فرآیند محور[2]، مکانیستیک و مدیریت‌گرا[3] می‌باشد (Hoogenboom *et al.*, 1997; Hoogenboom *et al.*, 2003) که رشد و توسعهٔ انواع مختلفی از محصولات کشاورزی که در مناطق معتدل و حاره‌ای در سطح دنیا کشت می‌شوند را شبیه‌سازی می‌کنند (Tubiello *et al.*, 1999; Kumar *et al.*, 2002). مدل‌های مربوط به نسخهٔ قبل نیز در این بسته قرار گرفته‌اند. این مدل‌ها در مقیاس زمانی روزانه عمل کرده و تولید و تقسیم زیست توده[4] را براساس مرحلهٔ رشد فنولوژیک گیاه شبیه‌سازی می‌کنند. زیرمدل‌ها[5]، بیلان آب و انتقال نیتروژن (N) در خاک و جذب آب و نیتروژن توسط گیاه را شبیه‌سازی می‌کنند. در این فرآیند، عمق آب باقی‌مانده در سطح خاک، با درنظرگرفتن نفوذ ناشی از بارندگی و آبیاری و تلفات تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی و رواناب سطحی شبیه‌سازی می‌شود. در حال حاضر نسخه ٤/٥ این نرم‌افزار نیز در دسترس است. چندین مدل گیاهی، دو مدل شبیه‌سازی چرخه کربن و نیتروژن در خاک، مدل موازنه آب- خاک و تعداد زیادی از انتخاب‌های مدیریت گیاه و مزرعه برای شبیه‌سازی رشد و تولید محصول و اثرات زیست‌محیطی در نسخهٔ ٤/٥ ارائه شده است (Hoogenboom *et al.*, 1997; Hoogenboom *et al.*, 2010).

مدل PEST

به‌منظور تخمین پارامترهای مدل گیاهی به روش مدل‌سازی معکوس، از مدل PEST استفاده گردید. برای این منظور، مدل CERES-Barley از بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT به مدل PEST لینک گردید. برای تخمین بهینه پارامترها از نسخه WinPEST استفاده به عمل آمد که پارامترها را به روش رگرسیون غیرخطی (الگوریتم گوس- مارکوارد لاونبرگ) بهینه می‌کند (Doherty *et al.*,1995). بخش‌های مدل PEST، شامل تعریف و شناسایی پارامترهای مجهول، تعریف داده‌های مشاهده‌ای و نهایتاً اجرای مدل و برآورد پارامترها می‌باشد. پارامترهای مجهول در یک فایل الگو (PTF)[6] تعریف می‌گردد. اطلاعاتی از قبیل تعداد پارامترهای مجهول، داده‌های مشاهده شده، حداقل و حداکثر مقدار پارامترهای مجهول و نام فایل‌های مورد نیاز در یک فایل کنترل (PCF)[1] مشخص می‌شود. آدرس

[1] International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer
[2] Process based
[3] Management oriented
[4] Biomass
[5] Sub-models
[6] Pest Template File

مقادیر کمی پارامترهای شبیه‌سازی، در یک فایل ساختاری (PIF)[۲] مشخص می‌گردد که این فایل به فایل کنترل متصل می‌باشد. مدل با یک تقریب اولیه از پارامترهای اولیه، اجرا و با مقایسه مقادیر واقعی در فایل کنترل و مقادیر شبیه‌سازی از طریق فایل ساختاری، به‌صورت تکراری ادامه یافته و بهترین مقدار را برای بردار مجهولات برآورد می‌کند.

در مدل PEST، تابع هدف برای برآورد پارامترها، شامل کمینه کردن تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهدات بوده و به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد (Doherty *et al.*, 1995):

$$\min \varphi(\theta, b) = \sum_{i=1}^{N} W_i \left[O_i - S_i(b) \right]^2 \qquad (۱)$$

که در آن b بردار مجهولات، O مقدار مشاهداتی، S مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از آرایه بردار مجهولات، W وزن اختصاص یافته به هریک از مشاهدات و N تعداد مشاهدات می‌باشد. در رابطه فوق هدف یافتن مقدار منحصر به فرد b به گونه‌ای بوده که تابع هدف کمینه شود. مقادیر وزن هر مقدار مشاهداتی به نحوی تعیین گردید که اولاً بهترین برازش بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حاصل گردد و ثانیاً، با توجه به واحد هریک از مقادیر مشاهداتی، وزن یکسانی به این مقدار اختصاص یابد. به بیان دیگر، مقادیر بسیار کوچک مشاهداتی (مثل وزن صد دانه) در مقایسه با مقادیر بزرگ‌تر (مثل عملکرد کل دانه)، نقش یکسانی در تابع هدف داشته باشند.

واسنجی مدل گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد جو

مطالعه مزرعه‌ای

به‌منظور واسنجی مدل گیاهی شبیه‌ساز عملکرد جو در بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT (نسخهٔ ٤)، از نتایج مطالعات فرهادی‌بانسوله (۱۳۷۷) استفاده شد. این مطالعه، در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تهران واقع در طول جغرافیایی ۲٤ ۵۷ ۵۰ و عرض جغرافیایی ۹ ٤۸ ۳۵ با ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۳ متر در سال ۱۳۷۸-۱۳۷۷ صورت پذیرفت. عمق خاک منطقه بین ٦۰ تا ۷۵ سانتی‌متر برآورد گردید و اعماق پایین‌تر، شامل سنگریزه درشت مخلوط با شن و گراول بود. pH خاک بین ۸/۷ تا ۸/٤ و هدایت الکتریکی آن کم‌تر از ۰/٤ میلی‌موس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید (با تغییرات مکانی جزئی). بنابراین، خاک منطقه مسئله‌ای از نظر شوری نداشت. جدول ۱، مشخصات فیزیکی خاک منطقهٔ مطالعاتی و جدول ۲، شرایط فیزیکی خاک قبل از شروع آزمایش را نشان می‌دهند (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک منطقه مطالعاتی (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷)

عمق (cm)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)
۰ تا ۲۰	۱/۵۸	۳۶	۴۲/۳	۲۱/۷	۳۳/۴	۱۷/۲
۲۰ تا ٤۰	۱/۵۴	۳۶/۱	۴۳/۱	۲۰/۹	۳۱/۳	۱۶/۱
٤۰ تا ٦۰	۱/۴۹	۲۵/۷	۵۷/۶	۱۷/۷	۳۱/۹	۱۴/۹
میانگین	۱/۵۴	۳۲/۶	۴۷/۴	۲۰/۱	۳۲/۲	۱۶/۱

جدول ۲- شرایط فیزیکی خاک منطقه مطالعاتی قبل از شروع تیمارها (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷)

عمق (cm)	درصد رطوبت حجمی قبل از آبیاری اول	درصد رطوبت حجمی در FC	درصد کمبود رطوبتی خاک
۰ تا ۱۰	۲۷/۸۱	۳۱/۹۲	٤/۱۱
۱۰ تا ۲۰	۲۵/٤۲	۳۱/۹۲	٦/۵۰
۲۰ تا ۳۰	۲٦/٤٤	۳۲/۱٦	۵/۷۲
۳۰ تا ٤۰	۲۸/۹۹	۳۲/۱٦	۳/۱٦
٤۰ تا ۵۰	۳۳/٤۷	۳۲/۱٦	۱/٦۹

در این منطقه، متوسط بارندگی سالانه ۲۶۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳/۹ درجه می‌باشد. متوسط دمای حداقل در سردترین ماه سال برابر با ٤/۰۱- درجه بود (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷).

عملیات کاشت در تاریخ ۱۰ آبان ۱۳۷٦ انجام گرفت. میزان بذر ضدعفونی شده که مورد استفاده قرار گرفت، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. در زمان کاشت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفاته به خاک داده شد. جو از رقم والفجر بود. در تاریخ ۱٦ فروردین، مقدار ٦۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک به زمین داده شد. طول ردیف‌ها ۳ متر، فاصلهٔ ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصهٔ کرت‌ها از یکدیگر ۱ متر بود. این مطالعه، شامل ۱۱ تیمار با ۳ تکرار و در قالب ۳۳ کرت آزمایشی هریک به مساحت (۳ *۳) مترمربع بود. تیمارها شامل ۱۰۰ (T_{100})، ۹۰ (T_{90})، ۸۰ (T_{80})، ۷۰ (T_{70})، ٦۰ (T_{60})، ۵۰ (T_{50})، ٤۰ (T_{40})، ۳۰ (T_{30})، ۲۰ (T_{20}) و ۱۰ (T_{10}) درصد نیاز آبی گیاه بود. تیمار دیم (T_0) با دو آبیاری در زمان کاشت (۱۱ آبان) و اولین آبیاری بهاره (۲۰ فروردین) پیش از اعمال تنش بود. برای تمام تیمارها از دور آبیاری ۷ روز استفاده شد. برای محاسبهٔ نیاز آبی گیاه، از جداول نیاز آبی مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب استفاده شد که با استفاده از رابطهٔ پنمن- مانتیث محاسبه شده‌اند. به‌دلیل مرطوب بودن سال انجام آزمایش، بارش مؤثر با استفاده از اطلاعات هواشناسی همان سال مجدداً محاسبه گردید. جدول ۳، برنامهٔ زمانی و عمق آبیاری در هریک از تیمارهای آزمایش را نشان می‌دهد (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷).

بعد از ۲۰ فروردین ۱۳۷۷، هر هفته یک آبیاری انجام شد. مقدار آبیاری در آبیاری اول بعد از مشخص نمودن درصد رطوبت در هر لایه، محاسبهٔ کمبود رطوبتی آن لایه و مجموع کمبودهای رطوبتی تا عمق ۵۰ سانتی‌متر برآورد گردید. رطوبت خاک از طریق وزنی و با استفاده از آون اندازه‌گیری شد. پلات‌ها به روش آبیاری ثقلی (نشتی) آبیاری می‌شدند. راندمان کاربرد آب در کرت‌ها، ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷).

جدول ۳- برنامه زمان‌بندی و عمق آبیاری‌ها در تیمارهای مختلف جو (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷)

تاریخ آبیاری	ETc (mm)	باران مؤثر (mm)	T_{100} (mm)	T_{90} (mm)	T_{80} (mm)	T_{70} (mm)	T_{60} (mm)	T_{50} (mm)	T_{40} (mm)	T_{30} (mm)	T_{20} (mm)	T_{10} (mm)	T_0 (mm)
۱۳۷۶/۸/۱۱			۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۱۳۷۷/۱/۲۰			۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱
۱۳۷۷/۱/۲۷	۲۷/۹	۰	۳۱	۲۷/۹	۲۴/۸	۲۱/۷	۱۸/۶	۱۵/۵	۱۲/۴	۹/۳	۶/۲	۳/۱	-
۱۳۷۷/۲/۳	۲۹/۷	۹	۲۳	۲۰/۷	۱۸/۴	۱۶/۱	۱۳/۸	۱۱/۵	۹/۲	۶/۹	۴/۶	۲/۳	-
۱۳۷۷/۲/۱۰	۳۱/۱	۱۰	۲۳/۵	۲۱/۱۵	۱۸/۸	۱۶/۴۵	۱۴/۱	۱۱/۷۵	۹/۴	۷/۰۵	۴/۷	۲/۳۵	-
۱۳۷۷/۲/۱۷	۳۴/۳	۰	۳۸/۱	۳۴/۲۹	۳۰/۴۸	۲۶/۶۷	۲۲/۸۶	۱۹/۰۵	۱۵/۲۴	۱۱/۴۳	۷/۶۲	۳/۸۱	-
۱۳۷۷/۲/۲۴	۳۶	۴/۵	۳۵	۳۱/۵	۲۸	۲۴/۵	۲۱	۱۷/۵	۱۴	۱۰/۵	۷	۳/۵	-
۱۳۷۷/۲/۳۱	۳۷/۸	۳/۵	۳۸/۱	۳۴/۲۹	۳۰/۴۸	۲۶/۶۷	۲۲/۸۶	۱۹/۰۵	۱۵/۲۴	۱۱/۴۳	۷/۶۲	۳/۸۱	-
۱۳۷۷/۳/۷	۴۱/۹	۱۰	۳۵/۴	۳۱/۸۶	۲۸/۳۲	۲۴/۷۸	۲۱/۲۴	۱۷/۷	۱۴/۱۶				-
۱۳۷۷/۳/۱۴	۳۹/۲	۰	۴۳/۶	۳۹/۲۴	۳۴/۸۸	۳۰/۵۲							-
مجموع	۲۷۷/۹	۳۷/۰	۳۱۸/۷	۲۹۱/۹	۲۶۵/۲	۲۳۸/۴	۱۸۵/۵	۱۶۳/۱	۱۴۰/۶	۱۰۷/۶	۸۸/۷	۶۹/۹	۵۱/۰

برداشت محصول در تاریخ ۲۱ خرداد ۱۳۷۷ انجام گرفت. از هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شده و به منظور اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ٤، اجزای عملکرد جو در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. تحلیل نتایج با استفاده از آزمون دانکن و در سطح اطمینان ۵٪ صورت گرفت. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد که عملکرد دانه در تیمارهای T_{100} تا T_{70} از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند. این وضعیت در مورد عملکرد

[1] Pest Control File
[2] Pest Instruction File

کاه در تیمارهای T_{100} تا T_{20} برقرار است. به این معنی که کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری برعملکرد کاه در تیمارهای T_{100} تا T_{20} نداشته است. عملکرد کل تیمارهای T_{100} تا T_{50} نیز از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند. در این مطالعه، طول گیاه نیز در تیمارهای مختلف مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد که در تیمارهای T_{100} تا T_{20}، اختلاف معنی‌داری بین طول گیاه مشاهده نمی‌شود.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی

به منظور واسنجی مدل گیاهی، متوسط عملکرد دانه و عملکرد کل در تیمارهای T_{40}، T_{60}، T_{80} و T_{100} مورد استفاده قرار گرفتند. از آن‌جایی‌که برآورد عملکرد دانه از اهمیت بیشتری برخوردار است، برای این جزء عملکرد در زمان بهینه‌سازی توسط مدل PEST وزن ۲ در نظر گرفته شد. وزن جزء عملکرد کل ۱ و وزن صد دانه ۱۰۰۰۰۰ در نظر گرفته شد (به دلیل اختلاف واحدها).

به منظور واسنجی مدل باید ضرائب ژنتیکی هریک از ارقام مورد استفاده در مدل تنظیم و تعیین گردند. این ضرائب در مدل‌های DSSAT به سه بخش تقسیم می‌شوند. (۱) ضرائب ژنتیکی رقم گیاهی[1]، (۲) ضرائب ژنتیکی زیرگونهٔ گیاهی[2] و (۳) ضرائب ژنتیکی گونهٔ گیاهی[3] (Hoogenboom *et al.*, 2010) به‌منظور تغییر ضرائب گروه سوم، اطلاعات بسیار دقیق اندازه‌گیری شده مورد نیاز است. هرچند که تغییرات این ضرائب بین گونه‌های زراعی بسیار کم است. بنابراین، واسنجی ضرائب گیاهی تنها محدود به دو گروه اول می‌باشند. در گروه دوم نیز، اکثر ضرائب بین زیرگونه‌های مختلف، مشابه هستند و برای تعیین دقیق آنها، اطلاعات بسیار دقیق اندازه‌گیری شده مورد نیاز هستند. بنابراین، واسنجی این ضرائب تنها به ضرائبی محدود می‌شود که بین زیرگونه‌های مختلف متفاوت هستند. ضرائب ژنتیکی رقم گیاهی به شرح ذیل می‌باشند (جدول ۵):

جدول ٤- اجزای عملکرد جو در تیمارهای مختلف آبیاری (فرهادی‌بانسوله، ۱۳۷۷)

	تکرار	T_{100} (mm)	T_{90} (mm)	T_{80} (mm)	T_{70} (mm)	T_{60} (mm)	T_{50} (mm)	T_{40} (mm)	T_{30} (mm)	T_{20} (mm)	T_{10} (mm)	T_0 (mm)
	۱	٥٨٢٠	٦١٢٥	٦٠١٤	٥٨١٢	٥٢٤٧	٥١٢٥	٤٩٥٠	٥٠١٠	٤٩٢١	٣٥٣١	٢٨٣٥
عملکرد دانه	۲	٦٣٢٥	٦٢٥٠	٥٥٤٥	٥٦٠٠	٥٨٢٦	٤٨٧٢	٥١٢٠	٥٢١٠	٤٥٢٠	٣٧٠٠	٣٦٦٥
(Kg/ha)	۳	٦٤١٢	٥٧٢٠	٥٩٢٥	٦٤٥٨	٥٥٠٥	٥٣٢٦	٥٣٢٥	٤٦٥٣	٤١٠٣	٢٩٨٥	٣٣٨٧
	متوسط	٦١٨٦	٦٠٣٢	٥٨٢٨	٥٩٥٧	٥٥٢٦	٥١٠٨	٥١٣٢	٤٩٥٨	٤٥١٥	٣٤٠٥	٣٢٩٦
	۱	٦٣٥٥	٦٧٠٧	٦٧٠٦	٦٥٣٩	٦٠٨٧	٦٢٥٥	٥٨٥١	٦١٦٢	٦٣٣٢	٥٣٨٥	٤٧٠٦
عملکرد کاه	۲	٦٩٢٦	٦٨١٣	٦٢١٠	٦٢٧٢	٦٥٨٣	٦٢١٥	٦١٥٤	٦٦٧٩	٦١٩٦	٥٧٢٤	٦٠١١
(Kg/ha)	۳	٦٩٩٢	٦٣٢١	٦٦٠٩	٧٢٠٤	٦٣٣١	٦٩٩١	٦٨١٦	٥٩٥٦	٦٠٤٢	٤٥٩٧	٥٥٨٩
	متوسط	٦٧٥٨	٦٦١٤	٦٥٠٨	٦٦٧٢	٦٣٣٤	٦٤٨٧	٦٢٧٤	٦٢٦٦	٦١٩٠	٥٢٣٥	٥٤٣٥
	۱	١٢١٧٥	١٢٨٣٢	١٢٧٢٠	١٢٣٥١	١١٣٣٤	١١٣٨٠	١٠٨٠١	١١١٧٢	١١٢٥٣	٨٩١٦	٧٥٤١
عملکرد کل	۲	١٣٢٥١	١٣٠٦٣	١١٧٥٥	١١٨٧٢	١٢٤٠٩	١١٠٨٧	١١٢٧٤	١١٨٨٩	١٠٧١٦	٩٤٢٤	٩٦٧٦
(Kg/ha)	۳	١٣٤٠٤	١٢٠٤١	١٢٥٣٤	١٣٦٦٢	١١٨٣٦	١٢٣١٧	١٢١٤١	١٠٦٠٩	١٠١٤٥	٧٥٨٢	٨٩٧٦
	متوسط	١٢٩٤٣	١٢٦٤٥	١٢٣٣٦	١٢٦٢٨	١١٨٦٠	١١٥٩٥	١١٤٠٥	١١٢٢٣	١٠٧٠٥	٨٦٤١	٨٧٣١

P1V: تعداد روزهای مورد نیاز در دمای بهینهٔ بهاره‌سازی[4] به منظور تکمیل فرآیند بهاره‌سازی.

P1D: درصد کاهش سرعت رشد در زمانی‌که طول روز، ۱۰ ساعت از مقدار آستانه کم‌تر است، نسبت به سرعت رشد در حد آستانه.

P5: طول دورهٔ پرشدن دانه‌ها (بدون در نظر گرفتن دورهٔ تأخیر) (درجه روز).

[1] Ecotype
[2] Species
[3] Cultivar
[4] Vernalization

G1: تعداد دانه در ازای واحد وزن تاج گیاه در زمان گل‌دهی (تعداد در گرم).

G2: اندازهٔ استاندارد دانه‌ها در شرایط بهینه (میلی‌گرم).

G3: وزن خشک استاندارد و بدون تنش هریک از پنجه‌ها در زمان رسیدن گیاه (گرم).

PHINT: فاصلهٔ بین ظهور سربرگ‌ها (درجه روز).

تنها ضریب مربوط به گروه زیرگونه که در فرآیند واسنجی مورد استفاده قرار گرفت، پارامتر P1 بود که نشان دهندهٔ طول دورهٔ انتهای جوانی گیاه تا انتهای مرحلهٔ دوبرگی شدن آن (بر حسب درجه روز) می‌باشد. مقادیر اولیه و دامنهٔ تغییرات این ضرائب، براساس مقادیر مربوط به ارقام و زیرگونه‌های موجود در بانک اطلاعات مدل انتخاب شدند.

ارزیابی عملکرد مدل

به منظور ارزیابی عملکرد مدل از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی خطی (R^2) و ریشهٔ میانگین مربع خطاهای استاندارد (SRMSE)[1] استفاده شد که از روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند. در این روابط: O و P به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، $\overline{O}$ و $\overline{P}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و n تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند. از آن‌جایی‌که هدف نهایی از واسنجی مدل، استفاده از آن در شبیه‌سازی عملکرد جو در شرایط آبیاری می‌باشد، تمرکز عمده در تحلیل نتایج مدل بر تیمارهای T_{100} تا T_{40} خواهد بود و شاخص‌های عملکرد مدل نیز برای این تیمارها محاسبه خواهند شد.

$$R^2 = (1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}) \times 100 \qquad (۲)$$

$$SRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{0.5} \times \frac{100}{\overline{O}} \qquad (۳)$$

[1] Standardized Root Mean Square Error

نتایج و بحث

تحلیل نتایج مطالعه مزرعه‌ای

جدول ۵ مقادیر بهینهٔ ضرائب گیاهی جو و جدول ٦ مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شدهٔ اجزای عملکرد جو را پس از پایان فرآیند بهینه‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مدل توانسته است تا تیمار T_{50} این مقادیر را با دقت بسیار مناسبی شبیه‌سازی نماید. شاخص SRMSE عملکرد مدل بین تیمارهای T_{100} تا T_{50} و برای شبیه‌سازی عملکرد دانه، کاه و کل به ترتیب برابر است با ۵/۵٪، ۱۰/۹٪ و ۳/٦٪ و مقدار شاخص R^2 به ترتیب برابر با ۹۵٪، ٦۹٪ و ۹۳٪ می‌باشد.

جدول ٦ مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شدهٔ اجزای عملکرد جو را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد دانه در تیمارهای بیش آبیاری (بیشتر از ۷۰٪) کم‌تر از متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد گردیده است و در تیمارهای کم‌آبیاری (کم‌تر از ٦۰٪)، برآوردهای مدل از عملکرد دانه بیشتر از متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد و با افزایش تنش، خطای مدل افزایش می‌یابد که این نتیجه با نتایج دوکوهکی و همکاران (۱۳۹۱) و ربیع و همکاران (۱۳۹۲) همخوانی دارد. برای عملکرد کاه در تیمارهای بیش آبیاری (بیشتر از ۸۰٪)، برآورد مدل نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده تا حدودی دست‌بالا می‌باشند و پس از تیمار T_{70}، خطای مدل به شدت افزایش می‌یابد و دلیل آن، خطای بیشتر در شبیه‌سازی عملکرد کل می‌باشد. براساس آزمون t در سطح ۵٪، هیچ اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد کل و وزن صد دانه بین تیمارهای T_{100} تا T_{50} قابل تشخیص نیست.

جدول ۵- ضرائب ژنتیکی بهینه برای گیاه جو

P1	PHINT	G3	G2	G1	P5	P1D	P1V
۲۰۶	٦٥	۰/٤٥٧	۳۸/۷	۱۹/۳	۱٦۱	۱۷/۲	٥۹/٥

جدول ٦- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده اجزای عملکرد جو

	تیمار	T_{100}	T_{90}	T_{80}	T_{70}	T_{60}	T_{50}	T_{40}	T_{30}	T_{20}	T_{10}	T_0
عملکرد دانه	اندازه‌گیری	٦۱۸٦	٦۰۳۲	٥۸۲۸	٥۹٥۷	٥٥۲٦	٥۱۰۸	٥۱۳۲	٤۹٥۸	٤٥۱٥	۳٤۰٥	۳۲۹٦
(Kg/ha)	شبیه‌سازی	٥۸۸۰	٥۸۸۰	٥۸۸۰	٥۸۸۰	٥۷۹٥	٥۷٥۰	٥٦۳٤	٥٤٦٦	٤۹٥۸	٤٤٤٤	٤۱۷۲
عملکرد کاه	اندازه‌گیری	٦۷٥۸	٦٦۱٤	٦٥۰۸	٦٦۷۲	٦۳۳٤	٦٤۸۷	٦۲۷٤	٦۲٦٦	٦۱۹۰	٥۲۳٥	٥٤۳٥
(Kg/ha)	شبیه‌سازی	۷۲۲۰	۷۰۷۳	٦٦۱۹	٦۱٦۰	٥٦۲۹	٥۱۱۰	٤٦۲٤	۳۸۲۱	۳٦۸۱	۳٥۳٥	۳٤۱٦
عملکرد کل	اندازه‌گیری	۱۲۹٤۳	۱۲٦٤٥	۱۲۳۳٦	۱۲٦۲۸	۱۱۸٦۰	۱۱٥۹٥	۱۱٤۰٥	۱۱۲۲۳	۱۰۷۰٥	۸٦٤۱	۸۷۳۱
(Kg/ha)	شبیه‌سازی	۱۳۱۰۰	۱۲۹٥۳	۱۲٥۰۰	۱۲۰٤۰	۱۱٤۲٤	۱۰۸٥۹	۱۰۲٥۹	۹۲۸۷	۸٦۳۹	۷۹۷۹	۷٥۸۸

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از مدل PEST و با بکارگیری نتایج حاصل از مطالعهٔ مزرعه‌ای فرهادی‌بانسوله (۱۳۷۷)، ضرائب ژنتیکی گیاه جو رقم ولفجر، واسنجی و صحت‌سنجی گردیدند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل CERES-Barley از بستهٔ نرم‌افزاری DSSAT نسخهٔ ٤ توانایی قابل توجهی در شبیه‌سازی عملکرد کل و عملکرد دانه به ویژه در شرایط آبیاری کامل و تنش ملایم دارد. خطای مدل با کاهش مقدار آبیاری، افزایش پیدا می‌کند. با این‌حال، به دلیل دقت نسبتاً بالای شبیه‌سازی‌های مدل در تیمارهایی که نیاز آبی محصول جو را بیش از ۵۰٪ برآورده می‌سازند، امکان استفاده از آن در شبیه‌سازی عملکرد محصول جو در شرایط فاریاب با خطای قابل قبول وجود دارد. علیرغم این مسئله، محدودیت‌های این مطالعه نیز باید مد نظر قرار داده شوند. در مطالعهٔ فرهادی‌بانسوله (۱۳۷۷)، ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش گزارش نشده است. از طرفی غلظت نیتروژن در خاک مزرعهٔ آزمایشی پیش از آغاز آزمایش اثر قابل توجهی بر نتایج شبیه‌سازی مدل دارد. همچنین، اطلاعاتی در ارتباط با شرایط محل مطالعه پیش از انجام آزمایش وجود ندارد و این شرایط بطور تقریبی برآورد گردیده‌اند. از طرفی محاسبه نیاز آبی انجام شده دقت لازم برای یک تحقیق کم آبیاری را نداشته است. همچنین، فاصلهٔ کاشت بوته‌های جو در مزرعه گزارش نشده است که به همین دلیل، تعداد بوته در واحد سطح با روش سعی و خطا برآورد گردید. اندازه‌گیری‌های طول فصل (به ویژه وزن خشک تاج گیاه در طول دورهٔ رشد) و ثبت مراحل رشد گیاه در زمان اندازه‌گیری‌های صحرایی نیز می‌تواند در واسنجی مدل گیاهی بسیار مؤثر باشد. همچنین توجه به این مسئله نیز ضروریست که مدل‌های DSSAT (تا نسخهٔ ٤) اثر کودهای غیرنیتراته را در عملکرد محصول در نظر نمی‌گیرند.

فهرست منابع

اندرزیان، ب.، بخشنده، ع.، بیابان، م. و امام، ی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. مجلهٔ پژوهش‌های زراعی ایران، ٦(۱): ۲۲-۱۱.

ربیع.، م. قیصری، م. و میرلطیفی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل DSSAT v.4.5 به منظور شبیه‌سازی آبشویی نیترات در مزرعه ذرت در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی. علوم آب و خاک، ۱۷ (٦۳):۷۱-۸۰.

دوکوهکی، ح.، قیصری، م.، موسوی، ف. و میرلطیفی، م. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی رطوبت خاک در شرایط کم‌آبیاری با استفاده از مدل DSSAT. مدیریت آب و آبیاری، ۲ (۱):۱-۱٤.

سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری گیاه سویا با استفاده از مدل BUDGET. حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۳): ٤٧– ٥٨.

ملکیان، ر. و قیصری، م. ۱۳۹۰. حساسیت‌سنجی مدل CSM-CERES-Maize نسبت به ظرفیت زراعی خاک برای شبیه‌سازی سرنوشت نیتروژن در نیمرخ خاک. حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۲): ۱–١٤.

فرهادی بانسوله، ب. ۱۳۷۷. بررسی اثرات کم آبیاری برروی عملکرد محصول جو در منطقهٔ کرج و تعیین تابع تولید. پایان نامهٔ دورهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، ص ۱۲۸.

کیانی، ع.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و بنایان. م. ۱۳۸۲. ارزیابی مدل CERES-Wheat در دو نقطهٔ متفاوت اقلیمی در استان خراسان، I– پیش‌بینی عملکرد. بیابان، ۸ (۲): ۲۷۵– ٢٦٤.

کیانی، ع.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و بنایان. م. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل CERES-Wheat در دو نقطهٔ متفاوت اقلیمی در استان خراسان، II– شبیه سازی فنولوژی و پارامترهای رشد. بیابان، ۹ (۱): ١٤٢–١٢٥.

Bannayan, M., Crout, N.M.J., Hoogenboom, G. 2003. Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom. Agronomy Journal, 95: 114–125.

Doherty, J., Brebber, L. and Whyte, P. 1995. PEST: Model Independent Parameter Estimation. Australian Centre for Tropical Freshwater Research, James Cooke University, Townsville, Australia, 140 p.

Duchon, C.E. 1986. Corn yield prediction using climatology. Journal of Climate and Applied Meteorology, 25(5): 581-590.

Eitzinger, J., Trnka, M., Ho¨ sch, J., Z˘ alud, Z., Dubrovsky´ , M. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modeling, 171: 223–246.

Fari, R.T., Folegatti, M.V., Frizzone, J.A. and Saad, A.M. 1997. Determination of a long-term optimal Bellamy, J.A. (Eds.), Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics. C.A.B. International, Wallingford, UK, 235–262.

irrigation strategy for dry beans in Parana State, Brazil. Scientia Agricola, 54: 191-202.

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A. and Tsuji, G.Y. 2003. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI, 169 p.

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Hunt, L.A. and Tsuji, G.Y. 2010; Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.5. Volume 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI, 37 p.

Hoogenboom, G. 2000. The Georgia Automated Environmental Monitoring Network. In: Preprints 24rd Conference on Agricultural and Forest Meteorology. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, 124 p.

Hoogenboom, G., White, J.W., Jones, J.W., Boote, K.J. 1994. BEANGRO: A process-oriented dry bean model with a versatile user interface. Agronomy Journal 86: 182-190.

Jactap, S.S., Jones, J.W. 2002. Adaptation and evaluation of the CROPGRO-soybean model to predict regional yield and production. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 93 (1-3): 73-85.

Jones, J. W., K. J. Boote, G. Hoogenboom, S. S. Jagtap, Wilkerson, G.G. 1989. SOYGRO V5.42, Soybean Crop Growth Simulation Model. User's Guide. Fl. Agric. Exp. Sta., Journal No. 8304. University of Florida, Gainesville. 53 p.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W, Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy, 18: 235-265.

Kumar, R., Singh, K.K., Gupta, B.R.D., Baxla, A.K., Rathore, L.S., Attri, S.D. 2002. Optimum sowing dates for soybean in central India using CROPGRO and ClimProb symbiosis. Applied Meteorological, 9: 247–254.

Mall, R.K., Lal, M., Bhatia, V.S., Rathore, L.S., Singh, R. 2004. Mitigating climate change impact on soybean productivity in India: A simulation study. Agricultural and Forest Meteorology, 121: 113–125.

Mani, J.K. Singh, R. Singh, D. Kumar, M.S. 2007. Microclimatic Studies in Barley (*Hordeumvulgare L.*) under different growing environments. Agricultural Biological Publishers, India, 23(2): 167-171.

Muchow, R.C., Hammer, G.L., Carberry, P.S. 1991. Optimizing crop and cultivar selection in response to climatic risk. In: Muchow, R.C.,

Panda, R.K., Behera, S.K., Kashyap, P.S. 2003. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. Agricultural Water Management, 63: 37–56.

Povilitis, V., Lazauskas, S., Masauskas, V. and Antanaitis, S. 2008. The possibilities of spring barley yield simulation by the DSSAT v 4.0.2.0 model. Journal of Agriculture, 96(2): 88-97.

Rivero Vega, R.E., Rivero Jaspe, Z.I. and Limia de la Rosa, J. 2005. Fechasdesiembra optima para el arroz de secano. In: 3er Congreso Internacional delArrozy 3er Congreso NacionaldelArroz, La Habana, Cuba. June 6–10, (in Spanish), 130 p.

Ruiz-Nogueira, B., Boote, K.J. and Sau, F. 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. Agricultural System, 68: 151–173.

Saseendran, S.A., Hubbard, K.G., Singh, K.K., Mendiratta, N., Rathore, L.S. and Singh, S.V. 1998. Optimum transplanting dates for rice in Kerala, India, determined using both CERES v3.0 and ClimProb. Agronomy Journal, 90: 185–190.

Savin, R., Satorre, E.H., Hall, A.J. and Slafer, G.A. 1995. Assessing strategies for wheat cropping in the monsoonal climate of the Pampas using the CERES-Wheat simulation model. Journal of Field Crops Research, 42(2-3): 81-91.

Thornton, P.K., Bowen, W.T., Ravelo, A.C., Wilkens, P.W., Farmer, G., Brock, J. and Brink, J.E. 1997. Estimating millet production for famine early warning: an application of crop simulation modelling using satellite and ground-based data in Burkina Faso. Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 83(1-2): 95-112.

Thornton, P.K., Hoogenboom, G., Wilkens, P.W., Bowen, W.T. 1995. A computer program to analyze multiple-season crop model outputs. Agronomy Journal, 87: 131–136.

Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., LaMorte, R.L. and Garcia, R.L. 1999. Testing CERES-Wheat with free-air carbon dioxide enrichment (FACE) experiment data: CO2 and water interactions. Agronomy Journal, 91, 247–255.

Yao, F., Xu, Y., Lin, E., Yokozawa, M. and Zhang, J. 2007. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China. Earth and Environmental Science, 80 (3-4): 395-409.

ISSN 2251-7480

Calibration of CERES-Barley model using inverse modeling method under deficit irrigation conditions

Behnam Ababaei[1*], Mahdi Sarai Tabrizi[2], Bahman Farhadi Bansouleh[3], Teymour Sohrabi[4] and Farhad Mirzaei[5]

1[*]) PhD, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Karaj, Iran,
Corresponding author email: behnam.ab@gmail.com
2) Young Researchers Club and elites, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3) Assistant professor, Department of Water Engineering, Razi University, Tagh Bostan, Kermanshah, Iran
4) Professor, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Karaj, Iran
5) Assistant professor, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Karaj, Iran

Received: 22-06-2012 Accepted: 21-12-2012

Abstract

Crop simulation models are used for understanding plants response to the change of surrounding environment and to evaluate crop physiological and morphological characteristics to enhance crop production and to contribute to the efficient use of water and soil resources. Yet, the evaluation of these models is a prerequisite for their use in assessing different management strategies. In this study, CERES-Barley from DSSAT software package (version 4) was calibrated by using inverse modeling method and PEST model. This study was conducted with 11 experimental treatments each with three replicates in the form of complete randomized block design. The irrigated treatments were consisted of 100 (T_{100}), 90 (T_{90}), 80 (T_{80}), 70 (T_{70}), 60 (T_{60}), 50 (T_{50}), 40 (T_{40}), 30 (T_{30}), 20 (T_{20}), and 10 (T_{10}) percent of crop water requirement. The rainfed treatment was consisted of one irrigation at planting (November 1st) and the other at first spring (April 8th) before introducing water stress. The results indicated that the model could reasonably well simulate these amounts up to T_{50} with acceptable accuracy. The calculated SRMSE statistics between T_{50} and T_{100} treatments for the simulated grain yield, straw yield, and total crop yield was 5.5, 10.9, and 3.6 percent, respectively. The corresponding R^2 values were obtained to be 95, 69, and 93 percent, respectively.

Keywords: barley; calibration; deficit irrigation; inverse modeling