ارزیابی مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز

بهرام اندرزیان[۱]، عبدالمهدی بخشنده[۲]، محمد بنایان[۳]، یحیی امام[۴]

چکیده

به منظور واسنجی و ارزیابی مدل CERES-Wheat تحت شرایط آب و هوایی اهواز، دو آزمایش مزرعه‌ای در سال‌های زراعی ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا گردید. بعلاوه از نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در سال‌های گذشته در این مرکز نیز استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که RMSE محاسبه شده برای مراحل گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین برای تولید ماده خشک و عملکرد دانه به ترتیب برابر ۲/۵ روز، ۵ روز، ۶۴۰ کیلوگرم در هکتار و ۴۶۰ کیلوگرم در هکتار بود (مقدار RMSE در همه موارد کمتر از ۱۰٪ میانگین داده‌های مشاهده شده بود). این مبین توانایی خوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی و عملکرد گندم تحت این شرایط می‌باشد. لذا می‌توان بعد از واسنجی و بررسی صحت کارکرد مدل، آن را برای اهداف پژوهشی مورد نظر در شرایط اقلیمی اهواز به کار برد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی ، شبیه‌سازی، گندم، CERES-Wheat.

مقدمه

استان خوزستان با سطح زیر کشت ۳۵۰ هزار هکتار گندم آبی و ۱۸۰ هزار هکتار گندم دیم، با تولید بیش از یک میلیون و دویست هزار تن مقام دوم تولید گندم را در سطح کشور به خود اختصاص داده است(۲). استفاده بهینه از منابع و به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریتی مناسب جهت افزایش تولید گندم در این استان ضروری می‌باشد.

امروزه افزایش تولیدات غذایی بیش از هر چیز به استفاده منطقی از منابع بستگی دارد. به علاوه مباحثی چون تغییر اقلیم، تغییرات آب و هوا، تثبیت کربن خاک و تأثیر بلندمدت آنها روی امنیت غذایی و پایداری محیط اهمیت پیدا کرده است و عواملی مانند آب و هوا، خاک و مدیریت مزرعه بر روند واکنش گیاه به آب، عناصر غذایی و دیگر عملیات مدیریتی تأثیر می‌گذارد. تعیین راهکارهای مناسب مدیریت گیاه زراعی تحت این بی‌ثباتی از دیدگاه اقتصادی و محیطی دارای اهمیت به سزایی می‌باشد(۲۳).

مدل‌های شبیه‌سازی، به طور قابل توجهی برای بهینه‌سازی مدیریت تولید گیاهان زراعی مورد استفاده قرار می گیرد(۴ و ۶). همچنین این مدل‌ها می‌توانند تأثیر تغییر اقلیم و تثبیت بلند مدت کربن خاک بر تولید گیاهان زراعی را شبیه‌سازی نموده و تمهیدات لازم برای سازگاری به این تغییرات را ارائه دهند(۱۳). باتوجه به توانایی مدل CERES-Wheat در تعیین اثر کمّی پارامترهای مختلف اقلیمی، محیطی و مدیریتی بر تولید گندم، می‌توان با انتخاب استراتژیهای مختلف مثل ارزیابی تولید واریته‌های مختلف، تاریخ کاشت‌های متفاوت، بررسی مقدار و زمان مصرف نیتروژن و نیز شبیه‌سازی اثرات این عوامل با داده‌های هواشناسی بلند مدت، رشد، نمو و عملکرد گندم را در سطوح منطقه‌ای و ملی مورد ارزیابی قرار دهد (۱۱ و ۲۰).

۱- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان ۲- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین ۳- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ۴- عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

کیانی و همکاران (۳) با استفاده از مدل CERES-Wheat، عملکرد شش رقم گندم را در دو منطقه مشهد و بیرجند شبیه‌سازی نمودند و نتایج ارزیابی نشان داد که مدل با توانایی بالایی می‌تواند مراحل فنولوژی و عملکرد را پیش‌بینی نماید. هاندال و کائور(۱۱) جهت پیش‌بینی عملکرد گندم در دشت‌های آبی پنجاب هندوستان با استفاده از مدل CERES-Wheat و داده‌های اقلیمی پنج ساله، عملکرد دانه، ماده خشک کل، مراحل فنولوژیکی گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک را شبیه‌سازی نمودند، مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج اندازه‌گیری شده در مزرعه نشان داد که مدل به طور رضایت‌بخشی عملکرد دانه، ماده خشک و مراحل فنولوژی را پیش‌بینی می‌نماید، چیپانشی و همکاران(۸) به منظور پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در مراحل مختلف رشد گیاه (۱- استقرار گیاه ۲- تمایز سنبلچه انتهایی ۳- پایان رشد رویشی ۴- شروع رشد سنبله ۵- شروع پرشدن دانه) در منطقه ساسکاچوان کانادا با استفاده از مدل CERES-Wheat بیان نمودند که عملکرد نهایی شبیه‌سازی شده در مراحل مختلف نمو با عملکرد نهایی مشاهده شده دارای اختلاف کمتر از ۱۰ درصد بود و این حاکی از توانایی خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد نهایی در طی فصل رشد می‌باشد. بنایان و کروت(۷) 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 RMSE[1] عملکردهای شبیه‌سازی شده و واقعی برای اولین مرحله ۰/۹۵ و برای آخرین مرحله ۰/۶۸ تن در هکتار می‌باشد و نتیجه گرفتند که مدل در حد قابل قبولی عملکرد نهایی را در مراحل مختلف رشد گیاه پیش‌بینی می‌نماید. ساوین و همکاران(۱۹) برای ارزیابی راهکارهای مدیریتی (تیمارهای مختلف، دو رقم گندم زودرس و متوسط‌رس 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 ۲۴ ساله گزارش نمودند که بدون محدودیت نیتروژن، حداکثر عملکرد از کاشت زود هنگام و رقم متوسط‌رس بدست می‌آید، که عملکرد بیشتر این راهکار به علت منطبق شدن گیاه با مصرف آب بیشتر در طی دوره رشد گیاه بود هرچند که در سال‌های کم باران، این راهکار بهترین گزینه نبود و آنالیز پایداری عملکرد نشان داد که کاشت دیرهنگام با استفاده از رقم زودرس پایدارترین سیستم تولید، تحت این شرایط است. غفاری و همکاران(۱۰) به منظور ارزیابی راهکارهای مدیریتی مختلف و تعیین راهکارهای بهینه برای تولید گندم در مناطق معتدله (منطقه کنت انگلستان) به کمک مدل CERES-Wheat بیان داشتند که عملکرد دانه بین ۶/۹ تا ۷/۸ تن در هکتار بسته به راهکارهای مختلف متغیر بود و تفاوت بین عملکردهای شبیه‌سازی شده با واقعی ۰/۲۴ تن در هکتار (کمتر از ۱۰ درصد میانگین عملکردهای واقعی) بود. بهترین راهکار مدیریتی را تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع، مصرف نیتروژن ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و تاریخ کاشت نیمه اول مهرماه معرفی نمودند. همچنین آنها با استفاده از مدل CERES-Wheat ، پتانسیل عملکرد شش منطقه را پیش‌بینی نموده و نشان دادند که عملکرد گندم بسته به منطقه در دامنه‌ای بین ۸۹۹۵ تا ۹۸۹۴ کیلوگرم در هکتار طی سال‌های مختلف متغیر بود. مدل CERES-Wheat برای مطالعات دیگری مانند مدیریت مصرف نیتروژن بر عملکرد گندم(۱۸) مدیریت آبیاری و ارزیابی تنش رطوبت بر عملکرد گندم(۱۲ و ۱۴)، اثرات متقابل رطوبت و نیتروژن(۱۶) ، تأثیر تنش خشکی تحت شرایط تغییر اقلیم(۹) و تغییر اقلیم(۱۵) در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. همهٔ بررسی‌ها مبین توانایی بالای این مدل برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گندم تحت شرایط مختلف است.

باتوجه به توانایی مدل CERES-Wheat در تعیین اثر پارامترهای مختلف اقلیمی بر تولید گندم، می‌توان با کاربرداین مدل در سیستم‌های تولیدی، ضمن آنالیز کمی اثر پارامترهای اقلیمی و مشخص کردن اثر هر عامل بر تولید گندم، بهترین توصیه‌های مدیریتی برای هر منطقه را نیز مشخص کرد. قبل از کاربرد مدل CERES-Wheat برای بررسی اهداف مورد نظر در یک منطقه و یا برای یک رقم جدید، ارزیابی مدل (واسنجی و بررسی صحت) ضروری می‌باشد. لذا هدف این مقاله ارزیابی مدل CERES-Wheat برای شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد گندم در شرایط آب و هوایی اهواز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای

به منظور ارزیابی مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گندم علاوه بر استفاده از نتایج آزمایش‌های انجام شده در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (عرض جغرافیایی ۳۱/۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۸ درجه شرقی) دو آزمایش دیگر در سال‌های زراعی ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳ در این مرکز اجراگردید. در آزمایش سال اول سه رقم گندم بهاره، فونگ، استار و چمران (جدول۱) در دو تاریخ کاشت (۱ و۲۵ آذر) به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار کشت شدند. آزمایش سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ شامل کشت ارقام فونگ، چمران و استار بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. در این آزمایش‌ها کرت‌ها براساس ترکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در ۱۲ ردیف به طول ۱۲ متر و با فاصله ۲۸ سانتیمتر از یکدیگر کشت شدند میزان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه براساس آزمون خاک قبل از کاشت به کار برده شدند و بخشی از نیتروژن بصورت سرک در مرحله ساقه رفتن مصرف گردید. زمانی که رطوبت قابل دسترس خاک به ۵۰ ٪ کاهش می‌یافت، کرت‌ها بر مبنای مصرف تقریبی ۱۰۰ میلی‌متر آب در هکتار با استفاده از کنتور آبیاری می‌شدند. علف‌های هرز نیز با مصرف علف‌کش کنترل شدند. سه روز بعد از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها ۶ بوته از وسط ردیف‌ها برای هر کرت بوسیله نخ‌های رنگی علامت‌گذاری شد تا مراحل اصلی فنولوژی براساس مقیاس زادوکس(۲۴) تعیین شود. در طی فصل رشد زمان وقوع مراحل ساقه رفتن (ZS=31) ، آبستنی (ZS=45) ، گل‌دهی (ZS=65) و رسیدگی فیزیولوژیک (ZS=92) مشخص شد. همچنین در طی دوره رشد گیاه با فاصله زمانی ۱۵ روز، از هر کرت سطحی معادل ۰/۳۳ مترمربع نمونه‌برداری انجام می‌شد تا وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه تعیین گردد. برداشت نهایی ۱۰ روز بعد از رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد و وزن ماده خشک کل، عملکرد دانه و اجرا آن اندازه‌گیری شد.

با استفاده از داده‌های به دست آمده از تاریخ کاشت اول آزمایش سال اول (۸۳-۱۳۸۲) در مرکز تحقیقات کشاورزی و داده‌های بعضی از آزمایش‌های انجام شده در مرکز تحقیقات کشاورزی طی سال‌های گذشته، مدل واسنجی شد. سپس مدل برای تاریخ کاشت دوم سال ۸۳-۱۳۸۲ و سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ اجرا و نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل با نتایج اندازه‌گیری شده برای هرسه رقم گندم، مقایسه وبا استفاده از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات اشتباه (RMSE)[1] ، میانگین درصد اشتباه(MPE)[2]، میانگین انحراف از اشتباه(MBE)[3] (۷)، شاخص توافق ویلموت(d)[4] (۲۲)، رگرسیون خطی و خط ۱: ۱ مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

مدل CERES-Wheat

دراین بررسی مدل CERES-Wheat از مجموعه مدل‌های DSSAT 4.0.2.0 مورد ارزیابی قرار گرفت. این مدل قادر است تأثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و نیز تصمیمات مدیریتی مزرعه را ارزیابی نماید. این مدل مراحل فنولوژی، تجمع و تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ،رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه

جدول ۱: خصوصیات زراعی ارقام گندم مورد استفاده

رقم	خصوصیات					
	ارتفاع (سانتیمتر)	کاشت تاسنبله دهی (روز)	کاشت تا رسیدگی (روز)	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرددانه (تن درهکتار)	گروه رسیدگی
فونگ	۸۵-۹۰	۸۰-۸۵	۱۲۵-۱۳۰	۳۸-۴۰	۴-۵/۵	زودرس
چمران	۸۵-۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۱۳۵-۱۵۰	۳۸-۴۲	۶/۵-۷	میان رس
استار	۹۰-۱۰۵	۱۰۵-۱۱۰	۱۵۰-۱۶۰	۴۰-۴۵	۶/۵-۷	دیررس

1. Root Mean Square Error 2. Mean Percentage Error 3. Mean Bias Error 4. Agreement Index "d"

و تاثیر تنش‌های آب و نیتروژن را بر رشد و نمو گیاه شبیه‌سازی می‌نماید.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

الف) موقعیت مکانی: طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین درجه حرارت سالانه

ب) اطلاعات هواشناسی: داده‌های روزانه مربوط به درجه حرارت حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی

ج) اطلاعات خاکشناسی: بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هریک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان EC و pH .

د) عملیات زراعی: نوع رقم و تیپ آن، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطوط،تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری، مقدار آب آبیاری.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای واسنجی و بررسی صحت مدل

این اطلاعات شامل: تاریخ جوانه‌زنی، تاریخ پنجه‌زنی، تاریخ ساقه‌دهی، تاریخ گلدهی، تاریخ شروع پرشدن دانه، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک، حداقل سه نمونه‌برداری شاخص سطح برگ و ماده خشک در طول دوره رشد و نمو، عملکرد دانه، ماده خشک کل، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد برگ می‌باشد.

واسنجی مدل

به منظور واسنجی مدل باید ضرائب ژنتیکی هریک از ارقام مورد استفاده در مدل تنظیم و تعیین گردند. این ضرائب ژنتیکی به شرح ذیل می‌باشند:

P_1V: حساسیت به ورنالیزاسیون، ضریب P_1V برای تعیین میزان حساسیت ارقام گندم به ورنالیزاسیون به کار می‌رود. گیاهانی که ورنالیزه (بهاره‌سازی) نمی‌شوند نمو آنها به تأخیر می‌افتد. ضریب P_1V تأخیر در نمو گیاه به ازای هرروز تأمین نشدن نیاز ورنالیزاسیون (روز) را نشان می‌دهد. به‌طوری که هرچه نیاز سرمایی رقم بیشتر باشد،P_1V به‌ازای هرروز برآورده نشدن نیاز ورنالیزاسیون، مقدار بیشتری خواهد شد.

P1D: حساسیت به فتوپریود، در ارقام مختلف گندم اختلافات ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز وجود دارد و میزان تأخیر در نمو گندم در صورت عدم تأمین طول روز مطلوب، بستگی به حساسیت رقم به فتوپریود خواهد اشت. ضریب P_1D میزان تأخیر در نمو گندم را به‌ازای قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاهتر از فتوپریود مطلوب نشان می‌دهد.

P5: ضریب P_5 طول دوره پرشدن دانه را براساس درجه- روز نشان می‌دهد.

G1: این ضریب برای محاسبه تعداد دانه در سنبله به کار می‌رود. در مدل CERES-Wheat تعداد دانه براساس همبستگی که بین وزن ساقه در زمان گرده‌افشانی و تعداد دانه وجود دارد، محاسبه می‌شود.

G_2: از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پرشدن دانه استفاده می‌شود. سرعت پرشدن دانه به تأمین مواد فتوسنتزی از منابع تأمین‌کننده آن بستگی دارد. فتوسنتز جاری برگ‌ها، سنبله‌ها و نیز انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای ساقه، منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی دانه‌ها هستند و ضریب G_2، سرعت پرشدن دانه را براساس فراهمی منابع فوق محاسبه خواهد کرد.

G_3: این ضریب وزن سنبله و ساقه، در زمان کاهش طویل شدن ساقه، را محاسبه می‌کند.

PHINT: این ضریب فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی[1] را نشان می‌دهد. این فاصله زمانی بر مبنای واحد درجه- روز بیان می‌شود.

مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده

برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های به

جدول۲: ضرائب ژنتیکی محاسبه شده برای ارقام گندم

رقم	ضریب						
	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
فونگ	۰	۸۳	۷۰۰	۲۲/۵	۴۳	۱/۲	۹۵
چمران	۰	۹۱	۷۳۵	۲۱/۵	۴۰	۱/۲	۹۵
استار	۰	۱۰۰	۶۵۰	۱۵	۴۳	۱/۲	۹۵

1 - Phyllochron

جدول۳: نتایج واسنجی مدل برای ارقام گندم براساس ضرائب ژنتیکی جدول۲

صفت	استار			چمران			فونگ		
	شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت	شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت	شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت
تاریخ گل‌دهی (روز بعد از کاشت)	۱۰۴	۱۰۴	۰	۹۳	۹۳	۰	۸۳	۸۳	۰
تاریخ رسیدگی (روز بعد از کاشت)	۱۴۳	۱۴۳	۰	۱۳۷	۱۳۷	۰	۱۲۹	۱۲۹	۰
عملکرد دانه (kg/ha)	۵۲۰۷	۵۰۸۷	+۱۲۰	۶۳۲۴	۵۸۳۵	+۴۸۹	۵۶۷۵	۵۵۹۶	+۷۹
ماده خشک کل (kg/ha)	۱۶۲۰۹	۱۴۹۴۲	+۱۲۶۷	۱۵۱۴۲	۱۵۶۷۰	-۴۹۸	۱۳۴۴۷	۱۳۹۴۵	-۴۹۸
LAI حداکثر	۷/۳	۵/۲	+۱/۲	۵/۸	۵/۳	./۵	۴/۸	۴/۷	+./۱

دست آمده از آزمایشات مزرعه‌ای از شاخص‌های ارزیابی، ریشه میانگین مربعات اشتباه(RMSE) ، میانگین درصد اشتباه(MPE) ، میانگین انحراف از اشتباه (MBE) (۷) ، شاخص توافق ویلموت(d) (۲۲)، رگرسیون خطی و خط ۱:۱ استفاده گردید.

$$RMSE=\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{(P_i-O_i)^2}{n}\right]^{0.5} \quad (۶)$$

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)}{n} \quad (۷)$$

$$MPE=\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{|O_i-P_i|}{Oi}\right).100\right]/n \quad (۸)$$

$$d=\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum\left(|P_i-O_{iavg}|\right)+\left(|Oi-Oi_{avg}|\right)^2} \quad (۹)$$

که P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده، n : تعداد مشاهدات و O_{iavg} میانگین مقادیر مشاهده می‌باشد.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی مراحل فنولوژی

نتایج حاصل از شبیه سازی مراحل گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک برای سه رقم گندم فونگ، چمران و استار در طی سال‌های زراعی ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳ در شرایط آب و هوایی اهواز نشان می‌دهد که مدل با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه‌سازی نموده است (جدول ۴)، به طوری‌که مقادیر شاخص‌های ارزیابی کارکرد مدل RMSE ، MBE ، MPE و d برای مرحله گل‌دهی به ترتیب برابر ۲/۵ روز، ۱/۸- روز، ۲/۴ درصد و ۰/۹۵ و برای مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب برابر ۵ روز، ۲/۱- روز، ۳/۴ درصد و ۰/۸ می‌باشد. مقادیر شاخص‌های آماری مذکور مبین توانایی بالای مدل در پیش‌بینی مراحل گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد (کمتر از ۱۰ درصد مقادیر میانگین مشاهدات).

همچنین نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که مدل CERES-Wheat با دقت خوبی مراحل گل‌دهی(۹۰/. =r^2) و رسیدگی فیزیولوژیک(۸۴/. =r^2) را پیش‌بینی کرده است(شکل ۱). باتوجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه (آبیاری، مصرف کود و دیگر نهاده‌ها) برای دست‌یابی به حداکثر تولید محصول دارند به نظر می‌رسد مدل CERES-Wheat می‌تواند با پیش‌بینی مراحل فنولوژی در اقلیم‌های متفاوت به عنوان یک ابزار برای مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. با عنایت به دقت قابل قبول مدل CERES-Wheat در پیش‌بینی مراحل فنولوژی، تاکنون از این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده است.کیانی و همکاران(۳) مراحل فنولوژی را برای شش رقم گندم در دو منطقه بیرجند و مشهد بوسیله مدل CERES-Wheat شبیه سازی و گزارش نمودند که مدل با دقت بالایی (کمتر از ۱۰٪ میانگین مشاهدات) مراحل فنولوژیک ارقام گندم را در دو منطقه شبیه‌سازی نموده است. هاندال و کائور(۱۱) در طی سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۸۵ مدل CERES-Wheat را برای

جدول۴: تاریخ گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک شبیه‌سازی شده و مشاهده شده

سال زراعی	رقم	گل‌دهی(روز بعد از کاشت (روز بعد از کاشت)			رسیدگی فیزیولوژیک(روز بعد از کاشت)		
		شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت	شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت
۱۳۸۲-۸۳	فونگ	۸۱	۸۰	+۱	۱۲۲	۱۱۸	+۴
	چمران	۸۶	۹۰	-۴	۱۲۸	۱۲۵	+۳
	استار	۹۵	۹۶	-۱	۱۳۷	۱۴۰	-۳
۱۳۸۳-۸۴	فونگ	۸۳	۸۵	-۲	۱۲۴	۱۲۸	-۴
	چمران	۸۷	۹۱	-۳	۱۳۰	۱۳۴	-۴
	استار	۹۶	۹۷	-۱	۱۳۳	۱۳۶	-۳
	RMSE	۲/۵			۵		
	MBE	-۱/۸۳			-۲/۱		
	MPE	۲/۴			۳/۴۲		
	d	۰/۹۵			۰/۸		

منطقه پنجاب هندوستان ارزیابی نمودند و بیان داشتند که مدل به طور رضایت بخشی مراحل فنولوژی گندم را شبیه‌سازی می‌کند، به طوری‌که اختلاف بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده برای زمان گل‌دهی بین ۶+ تا ۹- روز و برای مرحله رسیدگی فیزیولوژیک بین ۳+ تا ۶- روز بود.

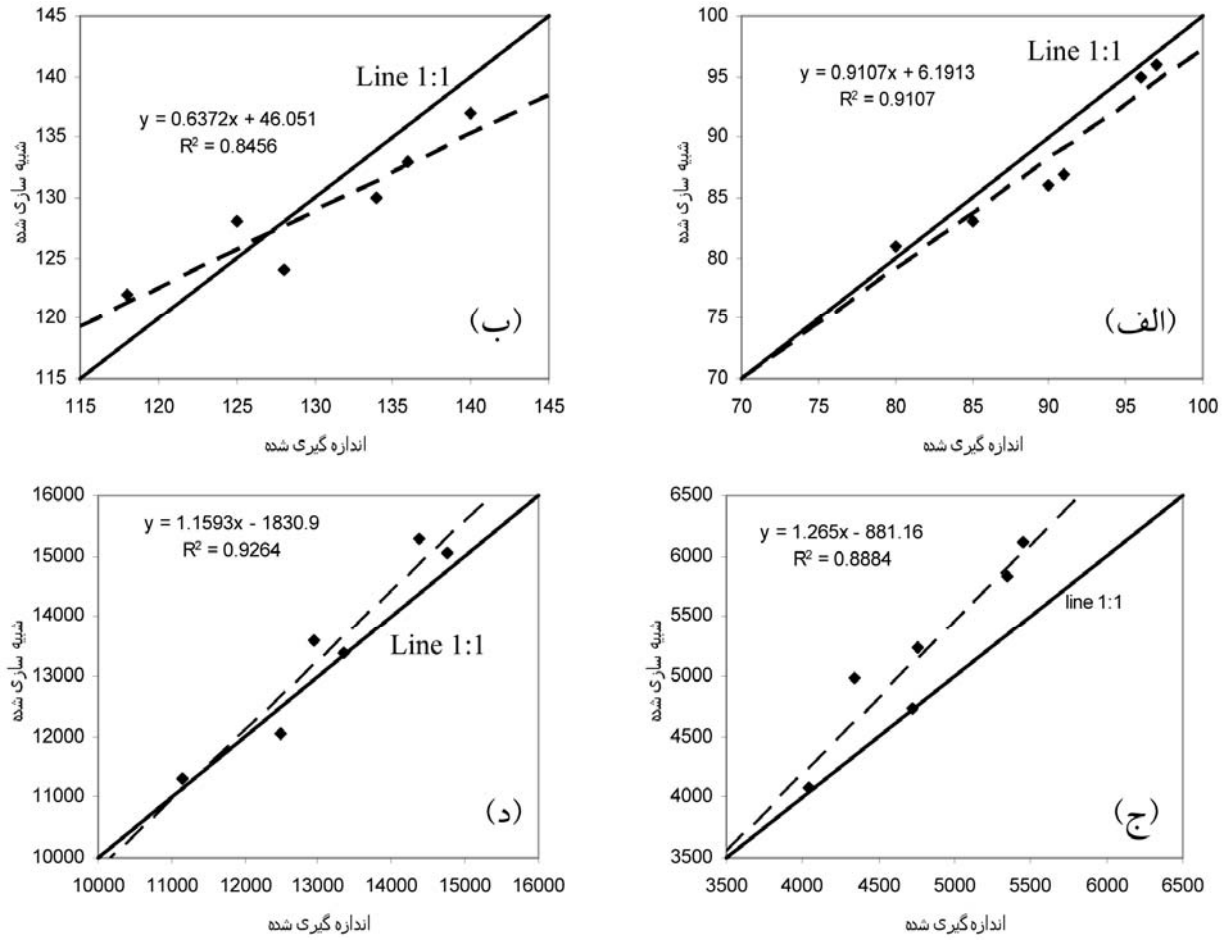
علاوه بر نقش مهم مراحل نموی در مدیریت مزرعه، تعیین زمان دقیق این مراحل برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه نیز دارای اهمیت است. چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی گیاه (ضرایب تخصیص) متناسب با مراحل نموی گیاه انجام می‌گیرد. از این‌رو پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژی و تعیین مقدار فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ متوالی) برای ارقام مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ضروری است(۴)

شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه

نتایج شبیه‌سازی ماده خشک اندام‌های هوایی (جدول۵) نشان می‌دهد که مدل تولید ماده خشک اندام‌های هوایی را بین ٪ ۱۰۶ - ٪ ۹۳ نسبت به ماده خشک مشاهده شده (واقعی) برآورد نموده است، به طوری که RMSE برای ماده خشک اندام‌های هوایی۶۰۴ کیلوگرم در هکتار و کمتر از ۱۰٪ مقدار میانگین مقدار مشاهده شده می‌باشد. همچنین شاخص‌های محاسبه شده MBE ، MPE ، d و ضریب تبین r^2، برای ماده خشک اندام‌های هوایی به ترتیب معادل ۱۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار، ۴ درصد، ۹۵/. و۹۲/. می‌باشند. که

جدول۵: مقایسه ماده خشک اندامهای هوایی و عملکرد دانه شبیه سازی شده ومشاهده

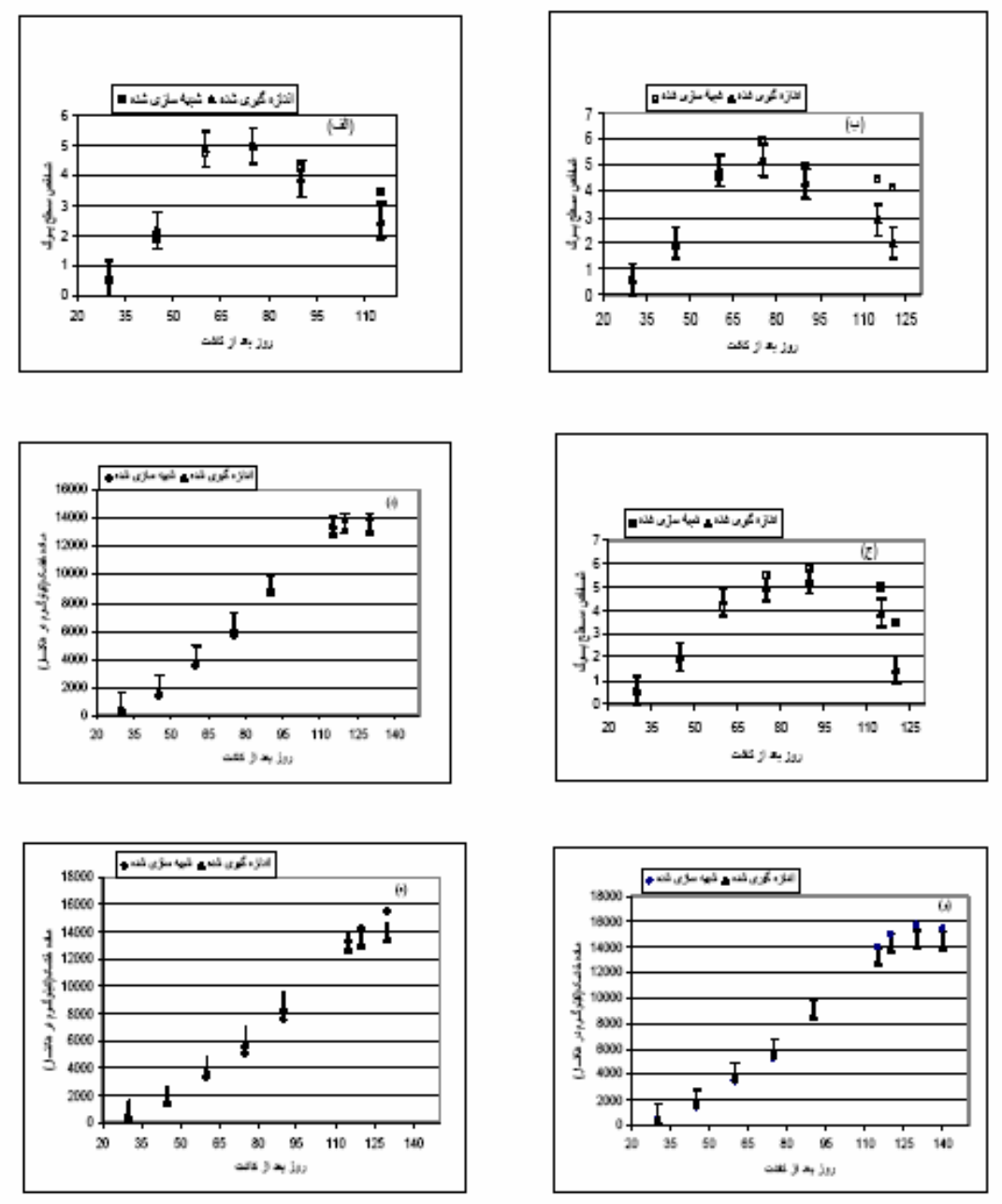
سال زراعی	رقم	ماده خشک اندام‌های هوایی (کیلوگرم در هکتار)			عملکرد دانه(کیلوگرم در هکتار)		
		شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت	شبیه‌سازی شده	مشاهده شده	تفاوت
۱۳۸۲-۸۳	فونگ	۱۳۳۷۷	۱۳۳۵۰	+۲۷	۶۱۰۷	۵۴۵۴	+۶۳۵
	چمران	۱۵۰۳۶	۱۴۷۵۰	+۲۸۶	۵۸۲۶	۵۳۴۶	+۴۸۰
	استار	۱۵۲۷۷	۱۴۳۶۹	+۹۰۸	۴۹۸۲	۴۳۴۳	+۶۴۸
۱۳۸۳-۸۴	فونگ	۱۱۳۱۳	۱۱۱۵۲	-۸۱۲	۴۷۴۰	۴۷۱۹	+۲۱
	چمران	۱۲۰۳۶	۱۲۴۷۶	-۴۴۰	۵۲۳۴	۴۷۵۳	+۴۸۱
	استار	۱۳۵۸۸	۱۲۹۳۰	۶۵۸	۴۰۸۰	۴۰۴۵	+۳۵
	RMSE	۶۰۴/۵			۴۶۵		
	MBE	۱۰۴/۵			۳۸۵		
	MPE	۴/۰۶			۷/۷۸		
	d	۰/۹۵			۰/۸۵		
		۱۳۱۷			۴۸۶		



شکل ۱. مقایسه داده های شبیه سازی شده با داده های اندازه گیری شده برای ارقام گندم:
الف: ظهور سنبله (روز بعد از کاشت) ب: رسیدگی فیزیولوژیک (روز بعد از کاشت)
ج: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) د: عملکرد ماده خشک کل(کیلوگرم در هکتار)

مقادیر این شاخص‌ها بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه سازی رشد و ماده خشک گیاه است (جدول ۵ و شکل ۱).

عملکرد دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل ٪۱۱۵ – ٪۱۰۱ درصد از عملکرد دانه مشاهده شده می‌باشد. مقدار RMSE محاسبه شده برای عملکرد دانه معادل ۴۶۵ کیلوگرم در هکتار و کمتر از ۱۰٪ مقدار میانگین مشاهده شده (۴۸۶ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. مقادیر شاخص‌های ارزیابی MBE ، MPE ، d و r^2 برای عملکرد دانه نیز به ترتیب برابر ۳۸۵ کیلوگرم در هکتار، ۷/۷ درصد،۰/۸۵ و ۰/۸۸ است که نشان دهنده کارایی خوب مدل در شبیه‌سازی و پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد(جدول۵ و شکل ۱). نتایج نشان می‌دهد که مدل با دقت بیشتری ماده خشک اندام‌های هوایی را نسبت به عملکرد دانه شبیه‌سازی نموده است، که احتمالاً بخشی ناشی از تلفات عملکرد دانه به علت ریزش در زمان برداشت باشد. البته مدل در بعضی موارد هم ماده خشک و هم عملکرد دانه را بیشتر از مقادیر مشاهده شده و در بعضی موارد نیز هر دو را کمتر از مقادیر مشاهده شده شبیه سازی نموده است، هرچند این تفاوت‌ها در دامنه قابل قبول کارکرد مدل قرار داشته‌اند. به طور کلی مدل CERES-Wheat تولید ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه را در ارقام گندم در حد قابل قبولی شبیه‌سازی می‌نماید، همان طور که برای پیش‌بینی عملکرد دانه از این مدل به طور وسیعی در مناطق مختلف دنیا (سردسیری، معتدله و نیمه گرمسیری) استفاده گردیده است(۳، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۲۲).



شکل ۲: مقایسه روند تغییرات شاخص سطح برگ

(الف: فونگ، ب: چمران، د: استار) و تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی(د: فونگ، و: چمران، ه: استار)

بنابراین برای ارزیابی منطقه‌ای تولید محصول گندم و بررسی راه‌کارهای مدیریتی جهت افزایش عملکرد گندم می‌توان از این مدل در استان خوزستان استفاده نمود.

شبیه‌سازی روند تغییرات شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک

مقایسه روند تغییرات شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده با مشاهده شده (واقعی) در ارقام گندم برای تاریخ کاشت دوم سال زراعی ۸۳- ۱۳۸۲ در شکل۲ نشان داده شده است. تغییرات شاخص سطح برگ در ارقام مورد مطالعه دارای یک روند مشابه است. به این صورت که در اوایل فصل رشد مقدار شاخص سطح برگ شبیه سازی شده کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن بود، در صورتی که از مرحله ظهور سنبله به بعد مقدار سطح برگ شبیه سازی شد، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که سرعت پیر شدن برگ (کاهش سطح برگ) شبیه‌سازی شده کمتر از سرعت اندازه‌گیری شده آن است و چنین به نظر می‌رسد که در شرایط آب و هوایی اهواز به علت افزایش دمای محیط در طی این دوره زمانی سرعت واقعی زوال برگ بیشتر از سرعت زوال شبیه‌سازی شده باشد(۱). به نظر می‌رسد که ماهیت مدل‌سازی شاخص سطح برگ در مدل CERES-Wheat تفاوت بین روندهای شبیه‌سازی شده و واقعی را توجیه می‌نماید. مدل CERES-Wheat سطح برگ تک بوته را محاسبه کرده، سپس باتوجه به میزان تراکم و وضعیت پنجه‌زنی گیاه سطح برگ را محاسبه می‌کند و سرعت زوال برگ ها را در شرایط بدون تنش آب و نیتروژن تابع مرحله نموی گیاه دانسته و شروع زوال را از مرحله چهار برگی فرض نموده است. همچنین در این مدل، سطح برگ ویژه احتمالاً براساس یک معادله تجربی است که با استفاده از داده‌های بدست آمده از منطقه آمریکای شمالی، محاسبه می‌شود(۱۷) و ممکن است سطح برگ ویژه برای ارقام مورد مطالعه در شرایط محیطی خوزستان تا اندازه ای متفاوت با مدل CERES-Wheat باشد، باتوجه به شرایطی محیطی خوزستان (دما، تغذیه و آبیاری) در اوایل فصل رشد، گیاه گندم سریع استقرار یافته و با سرعت مناسب پنجه‌زنی و رشد برگها را توسعه می‌دهد(۱) که این موضوع افزایش شاخص سطح برگ در اوایل رشد را در مقایسه با سطح برگ شبیه سازی شده توجیه می‌کند. موضوع دیگر بیشتر بودن شاخص سطح برگ حداکثر شبیه‌سازی شده نسبت به شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده می‌باشد (شکل ۲). باتوجه به رژیم حرارتی اهواز، شرایط به گونه‌ای است که باعث تسریع پنجه‌زنی و کوتاه شدن طول دوره پنجه‌زنی در گندم می‌شود(۱). چنین به نظر می‌رسد که تابع واکنش سرعت پنجه‌زنی به افزایش دمای محیط در مدل CERES-Wheat دارای شیب ملایم‌تری نسبت به حالت مشاهده شده در مزرعه است(۱۷) که منجر به محاسبه پنجه‌های بیشتر و نهایتاً شاخص سطح برگ بیشتر می‌گردد. در مجموع با مقایسه شاخص سطح برگ بیشتر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، مدل CERES-Wheat شاخص سطح برگ را به طور رضایت‌بخشی شبیه‌سازی می‌نمایند، هرچند تفاوت‌هایی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. الگوی تجمع ماده خشک در اندام‌های هوایی گیاه در هر دو حالت، شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، از روند عمومی سیگموئیدی تبعیت می‌نماید(۵). روند تجمع ماده خشک (شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده) با منحنی‌های تغییرات شاخص سطح برگ (شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری) شده با هم مطابقت می‌نمایند، که این وضعیت مبین یک همبستگی شدید بین دو متغیر شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک می‌باشد(۱). در مدل CERES-Wheat ، مقدار تولید اسیمیلات‌های روزانه متناسب با میزان تابش دریافتی توسط سایه‌انداز گیاه است و این بیانگر نقش بسیار مهم شاخص سطح برگ برای دریافت تابش خورشیدی و استفاده از آن برای تولید اسیمیلات‌های روزانه است.

به طور کلی باتوجه به نتایج بیان شده به نظر می‌رسد، مدل CERES-Wheat از توانایی و دقت قابل قبول برای کمّی کردن فرایندهای رشد، نمو و تجمع ماده خشک در اندام‌های مختلف گیاه برخود دارد بوده و می‌تواند برای مدیریت مناسب سیستم تولید گندم و پیش‌بینی عملکرد در استان خوزستان مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به توانایی مدل CERES-Wheat در آنالیز سیستم‌های تولیدی گندم، که قادر است تأثیر متغیرهای مختلف آب و هوایی، اقلیمی، خاکی، مدیریتی و گیاهی را

بر رفتار سیستم (رشد گیاه و عملکرد) تفکیک و شبیه‌سازی نماید و همچنین توانایی آن در پیش‌بینی عملکرد گندم در سطوح مزرعه، منطقه و ملی هم اکنون به طور وسیعی در مناطق مختلف دنیا از آن به عنوان یک ابزار مهم تصمیم‌گیری و مدیریتی در ابعاد پژوهشی و اجرائی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل باعث کاهش چشم‌گیر هزینه‌های تحقیقاتی و صرفه‌جویی در زمان گردیده و نتایج پژوهشی را با دقت قابل قبول به مناطق دیگر تعمیم می‌دهد. بنابراین کاربرد آن در کشور ما برای اهداف تحقیقاتی و مدیریت مزرعه ضروری به نظر می‌رسد. قبل از کاربرد این مدل، همانند مدل‌های دیگر لازم است که ارزیابی آن انجام گیرد تا بعد از تأیید صحت کارکرد مدل، از آن برای مطالعات مورد نظر استفاده نمود. نتایج حاصل از ارزیابی مدل در این پژوهش نشان داد که مدل CERES-Wheat می‌تواند رشد، نمو و عملکرد گندم را در شرایط آب و هوایی اهواز به خوبی شبیه‌سازی نماید. هرچند کاربرد آن برای سطوح وسیع‌تر به آزمایشات تکمیلی و دقیق دیگری نیاز می‌باشد.

منابع

۱- امام، ی و نیک نژاد، م. ۱۳۷۲. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۱ صفحه.

۲- بی نام. ۱۳۸۴. آمار نامه محصولات زراعی استان خوزستان. سازمان جهاد کشاورزی خوزستان.

۳- کیانی.ع، کوچکی.ع، بنایان.م و نصیری محلاتی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی مدل CERES- wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی دراستان خراسان، مجله پژوهشی بیابان، جلد ۸، شماره ۲، ۱۳۸۲. دانشگاه تهران.

۴- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۸. مدل‌سازی فرایندهای رشد گیاه زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۰ صفحه.

۵- هاشمی دزفولی، م.کوچکی، ع و بنایان، م. ۱۳۷۴. افزایش عملکرد گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۷۸ صفحه.

6- Aggarwal, P. K., N. Karla., A .K. Singh., and S. K. Sinha.,1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype and water and nitrogen availability on productivity of wheat I. The model description, parameterization and validation, Field Crops Res. 38: 73-91.

7- Bannayan. M., Crout. N. M. J, and Hoogenboom. G. 2003. Application of the CERES- wheat model for within season prediction of winter wheat yields in the United Kingdom. Agron. J. 95: 114-125.

8- Chipanshi. A. C., E. A. Ripley., and R. G. Lawford. 1997. Early prediction of spring wheat yields in Saskatchewan from current and historical weather data using the CERES-wheat model. Agric. For. Meteorol. 84: 223-232.

9- Eitzinger. J., M. Stastna., Z. Zalud., and M. Dubrousky. 2003. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. Agric. Water. Manage. 61:195-217.

10- Ghaffari. A., H. F. Cook., and H. C. Lee. 2001. Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. Europ. J. Agron. 15:231-240.

11- Hundale. S. S. and P. Kaur.1997. Application of CERES-wheat model to yield predictions in the irrigated plains of the Indian- Punjab. J. Agric. Scien. Camb. 129: 13-18.

12- Lobell. D. B., and Ivan Ortiz-Manasterio. 2006. Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES. Agric. Water. Manage. 84: 249-258.

13– Mall. R. K., M. Lal., V. S. Bhatia., L. S. Rathore and R. Singh. 2004. Mitigation climate change impact on soybean productivity in India: A simulation study. Agric. For. Meteorol. 121: 113-152

14- Panda. R. K., S. K. Behera., and P. S. Kashyap. 2003. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions, Agric. Water. Manage. 63:37-56.

15- Popova. Z and M. Kercheva. 2005. CERES-model application for increasing preparedness to climate variability in agricultural planning: calibration and validation test. Physic. Chemi. Earth. 30: 125-133.

16- Rinaldi M., 2004. Water availability at sowing and nitrogen management of durum wheat: A seasonal analysis with the CERES-wheat model Field Crops Res. 89: 27-37

17- Ritchie, J. t. U., D. E Singh., Godwin., and Bowen 1998. Cereal growth, development and yield In: Tsuji, G.Y., G., Hoogenboom., and P. K. Phoronton, (Eds.) Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic publisher, Dordrecht, the Netherlands pp.79-98.

18- Sassendran. S. A., D. C. Nielsen., L. Ma., L. R. Ahuja., and A. D. Halvorson.2004. Modeling nitrogen management on winter wheat production using RZWQM and CERES-Wheat. Agron. J. 96: 615-630.

19- Savin. R., E. H. Satorre., A. J. Hall., and G. A. Slafer. 1995. Assessing strategy wheat cropping in the monsoonal climate of the pampas using the CERES-wheat simulation model. Field Crops Res. 42:81-91
20- Suipt. I. 1997. Prediction national wheat yields using a crop simulation and trend models. Agric. For. Meteorol. 88: 199-214.
21- Timsina. J., and E. Humphereys. 2006. Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. Agric. Sys. 90: 5-31.
22- Willmott. C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorology Society. 63: 1309-1313.
23- *WWW.ICASA.NET*
24- Zadoks. J. C., J. J. Chang., and F. C. Konzac. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. Weed Res. 14: 415-421.

Evaluation of the CERES-wheat model in Ahvaz condition

B. Andarzian, A.M. Bakhshandeh, M. Bannayan, Y. Emam[1]

Abstract

In order to calibrate and validate the CERES-wheat model, two experiments were carried out at Agricultural and Natural Resources Research Center of Khouzestan during 1382-83 and 1383-84 growing seasons. In addition, we used results of experiments, which were performed in previous years at this Research Center. The values of root mean square error (RMSE) for anthesis and maturity dates, grain yield and biomass production were 2.5d, 5d, 640 kg/ha and 460 kg/ha, respectively. These RMSE values were less than 10 percent of observed data means. The results indicated that the CERES-wheat model can satisfactorily predict phonological stages, grain yield and biomass of wheat. Then calibrated and validated CERES-wheat model can apply to research purposes in Ahvaz conditions.

Keywords: Modeling, simulation, wheat, CERES-wheat

1- Contribution from Agricultural Research Center of Khouzestan, Ramin University, Ferdowsi University of Mashhad and Shiraz University, respectively.