

ارزیابی مدل CERES-Wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان

II- شبیه سازی فنولوژی و پارامترهای رشد

علی کیانی^۱، علیرضا کوچکی^۲، مهدی نصیری محلاتی^۳، محمد بنایان^۴

۱- کارشناس ارشد زراعت، ۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ وصول: ۱۳۸۱/۸/۲۸

چکیده

مدلهای مکانیستی شبیه‌سازی گیاهان زراعی، رشد و نمو محصولات زراعی را بر اساس فرایندهای کنترل کننده آن نظیر آسمیلاسیون CO₂، تنفس و تأثیر شرایط محیطی روی آنها، شبیه سازی میکنند. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد و نمو، از طریق مقایسه پارامترهای شبیه‌سازی شده با نتایج مزرعه‌ای و ارزیابی توانایی مدل در پیش بینی زمان وقوع مراحل مهم فنولوژیک بود. برنامه GENCALC به منظور تسهیل تعیین ضرایب ژنتیکی گیاهان زراعی، برای مدل‌های بکاررفته در نرم‌افزار DSSAT v3.5 بکار می‌رود نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی در آزمایشات مشهد و بیرجند نشان می‌دهد که مجذور میانگین مربعات خطای گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی در هر دو آزمایش از آستانه قابل قبول برای دقت مدل، (۱۰٪ مقادیر میانگین مشاهدات) کمتر بوده که نشان‌دهنده دقت مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی است. از طرف دیگر مدل در شبیه‌سازی وزن ساقه و بیوماس موفق نبوده است. هرچند روند بیوماس در هر دو آزمایش بخوبی شبیه‌سازی شده است با این حال بین بیوماس شبیه‌سازی شده و مشاهده شده اختلاف نسبتاً زیادی وجود دارد. به نظر می‌رسد عامل اصلی عدم شبیه‌سازی دقیق بیوماس در عدم تطابق معادلات بکار رفته در مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی بیوماس، با شرایط تولید بیوماس در مزرعه بوده است.

واژه‌های کلیدی: مدل CERES-Wheat، عملکرد بیوماس، فنولوژی

مقدمه

پیشرفت مدل سازی و ساخت مدل هایی که توانایی زیادی در شبیه سازی دقیق اثرات متقابل ژنوتیپ، محیط و مدیریت دارند، این جنبه از کاربرد مدلها در آینده از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد شد. بنابراین با توجه به توانایی مدل CERES-Wheat در تعیین اثر پارامترهای مختلف اقلیمی روی تولید گندم، می توان با کاربرد این مدل در سیستم های تولیدی، ضمن آنالیز کمی اثر پارامترهای اقلیمی و مشخص کردن اثر هر عامل اقلیمی بر تولید گندم، بهترین توصیه های مدیریتی برای هر منطقه را نیز مشخص کرد.

با توجه به قابلیت های مدل CERES-Wheat اهداف زیر در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند.

- 1) ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه سازی پارامترهای مختلف رشد، از طریق مقایسه پارامترهای شبیه سازی شده با نتایج مزرعه ای،
- 2) ارزیابی توانایی مدل در پیش بینی زمان وقوع مراحل مهم فنولوژیک.

مواد و روش

به منظور شبیه سازی پارامترهای مختلف رشدی و نیز پیش بینی مراحل مهم فنولوژیک با استفاده از مدل CERES-Wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان، دو آزمایش مزرعه ای با استفاده از شش رقم گندم، روشن، بزرسایا، آزادی، قدس، الموت و الوند که در طی سالهای مختلف معرفی شده اند، در سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ انجام شد.

مدلهای مکانیستی شبیه سازی گیاهان زراعی، رشد و نمو محصولات زراعی را بر اساس فرایندهای کنترل کننده آن نظیر آسیمیلاسیون CO_2 ، تنفس و تأثیر شرایط محیطی روی آنها، شبیه سازی میکنند. هدف اصلی و اولیه این مدلها افزایش اطلاعات درباره سیستم تحت بررسی، از طریق بیان کمی دانش موجود در یک مدل شبیه سازی دینامیک است (۱۳). با توجه به قابلیت شبیه سازی فرایندهای مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی، مدل های شبیه سازی گیاهان زراعی در مطالعات بسیاری که هدف از انجام آنها آنالیز کمی اثر پارامترهای مختلف محیطی و مدیریتی بوده است بکار برده شده اند (۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۵). شورت (۲۲) بیان داشت، مدل هایی که بر پایه راهکارهای دقیق فیزیولوژیکی باشند، می توانند واکنش های گیاهان زراعی به عوامل ژنتیکی، محیطی و مدیریتی را مشخص کنند. بوت و همکاران (۴)، چگونگی تعیین اختلاف های ژنتیکی و فیزیولوژیکی ارقام در مدل های شبیه سازی گیاهان زراعی را مورد بحث قرار دادند. آنها چگونگی استفاده از مدلها برای ارزیابی بهبود ژنتیکی گیاهان و تیپ های ایده آل فرضی برای محیط های خاص را نشان دادند. از آنجایی که استفاده از مدلها در اصلاح گیاهان، به شبیه سازی های دقیق فیزیولوژیکی و تعیین دقیق اثرات متقابل ژنوتیپی، محیطی و مدیریتی وابسته است، به نظر می رسد این جنبه کاربردی از مدلها، از پیچیدگی زیادی برخوردار باشد. با این حال امروزه با

زراعی در نظر گرفته شود تا پیش‌بینی قابل قبولی انجام گیرد. برنامه GENCALC به منظور تسهیل تعیین ضرایب ژنتیکی گیاهان زراعی، برای مدل‌های بکاررفته در نرم‌افزار DSSAT v3.5 بکار می‌رود (۱۲). ضرایب GENCALC مورد استفاده در مدل CERES-Wheat عبارتند از P5, P1D, P1V, G1, G2, G3 و PHINT که در ادامه توضیح داده میشوند.

ضریب P1V: حساسیت به ورنالیزاسیون

ضریب P1V برای تعیین میزان حساسیت ارقام گندم به ورنالیزاسیون بکار می‌رود، بطوریکه گیاهانی که به طور کامل ورنالیزه نمی‌شوند، نمو آنها به تأخیر می‌افتد. ضریب P1V تأخیر در نمو گیاه به ازاء هر روز تأمین نشدن نیاز ورنالیزاسیون را (به روز) نشان می‌دهد، بطوریکه هرچه نیاز سرمایی رقم بیشتر باشد، P1V به ازاء هر روز برآورده نشدن نیاز ورنالیزاسیون، مقدار بیشتری خواهد داشت.

ضریب 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 داشت (۲۰). ضریب P1D میزان تأخیر در نمو گندم را به ازاء قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاه‌تر از فتوپریود مطلوب، نشان می‌دهد.

آزمایشات مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مشهد، انجام شد.

هر دو آزمایش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی و با چهار تکرار انجام گرفت. در هر دو آزمایش و برای همه ارقام، مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل، ۴۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت، به خاک داده شد. کاشت آزمایش بیرجند در ۲۴ آبان ماه و آزمایش مشهد در ۱۶ آبان ماه انجام گرفت. آبیاری طبق روال ایستگاههای تحقیقاتی فوق انجام شد. در هر دو آزمایش، در مراحل ساقه دهی و گرده‌افشانی مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود ازت به صورت سرک به خاک اضافه شد. هر دو مزرعه تا حد امکان عاری از علف‌های هرز و آفات و بیماری‌های گیاهی نگه داشته شدند. در پایان رشد، به منظور تعیین عملکرد نهایی از هر کرت ۶ مترمربع برداشت شده و اجزاء عملکرد از یک نمونه ۰/۱ مترمربعی از هر کرت تعیین شدند. کالیبره کردن مدل با استفاده از داده‌های آزمایشات زراعی مختلف که در مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان انجام گرفته بود، صورت گرفت.

تعیین ضرایب ژنتیکی بوسیله برنامه GENCALC

ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر ویژگیهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین اختلافات وارته‌ای بین ارقام مختلف، باید به نوعی در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان

ضریب P5

ضریب P5 طول دوره پرشدن دانه‌ها را براساس درجه-روز^۱ (که در آن صفراپایه یک درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است) نشان می‌دهد.

ضریب G1

این ضریب برای محاسبه تعداد دانه در سنبله بکار می‌رود. در مدل CERES-Wheat تعداد دانه براساس همبستگی که بین وزن ساقه در زمان گرده افشانی و تعداد دانه وجود دارد (۶)، محاسبه می‌شود.

ضریب G2

از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پرشدن دانه استفاده می‌شود. سرعت پرشدن دانه به تأمین مواد فتوسنتزی از منابع تأمین کننده آن بستگی دارد. فتوسنتز جاری برگها، سنبله (و ریشک‌ها) و نیز انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای از ساقه، منابع تأمین کننده مواد فتوسنتزی دانه‌ها هستند و

ضریب G2، سرعت پرشدن دانه‌ها را بر اساس فراهمی منابع فوق محاسبه خواهد کرد.

ضریب G3

این ضریب وزن خوشه و ساقه، در زمانی که سرعت تولید شدن ساقه کاهش می‌یابد، را محاسبه میکند.

ضریب PHINT

برای تعیین مراحل نموی گندم، مشخص کردن سرعت ظهور برگها ضروری است. در برنامه GENCALC، برای مشخص کردن فاصله زمانی بین ظهور نوک دو برگ متوالی (فیلوکرون) از ضریب PHINT استفاده می‌شود. این ضریب فاصله بین ظهور نوک دو برگ متوالی را با واحد درجه-روز نشان می‌دهد. پس از اجرای برنامه GENCALC، و بر اساس مشاهدات مزرعه ای ضرایب ژنتیکی ارقام در هر دو آزمایش، مشخص شدند (جدول ۱).

جدول ۱- ضرایب ژنتیکی محاسبه شده برای ارقام مورد استفاده در آزمایش مشهد و بیرجند

PHINT	G3	G2	G1	P5	P1D	P1V	
۸۵	۱/۲	۳/۱	۱/۴	-۵/۱	۲/۹	۴/۵	روشن
۸۵	۱/۵	۲	۱/۳	-۸/۶	۳/۱	۵/۲	بزوستاریا
۸۶	۱/۵	۳/۳	۱/۷	-۵/۲	۳	۴/۳	آزادی
۸۴/۵	۱/۹	۳/۵	۱/۸	-۴/۷	۳	۴/۴	قدس
۸۷	۱/۹	۳/۱	۱/۴	-۷/۱	۳	۴/۷	الموت
۸۷	۲/۵	۳/۱	۲	-۷/۸	۳	۴/۷	الوند

نتایج و بحث

شبیه سازی مراحل فنولوژیک

نتایج حاصل از شبیه سازی مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی در آزمایشات مشهد و بیرجند نشان می دهد که مجذور میانگین مربعات خطای گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی در هر دو آزمایش مشهد و بیرجند از آستانه قابل قبول برای دقت مدل، (۱۰٪ مقادیر میانگین مشاهدات) کمتر بوده که نشان می دهد تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی با دقت قابل قبولی برای هر دو آزمایش پیش بینی شده است (جدولهای ۳ و ۲). در هر دو آزمایش شبیه سازی طول دوره پر شدن دانه ها طولانی تر از آزمایشات مزرعه ای بوده است که به دلیل تخمین بیش از حد طول دوره پر شدن دانه ها به وسیله ضریب P5 برنامه GENCALC است. همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی مراحل فنولوژیکی دو آزمایش، نشان داد که مدل CERES-Wheat به دلیل دارا بودن قابلیت تعیین ضرایب ژنتیکی مؤثر در فنولوژی گندم، از توانایی زیادی در پیش بینی دقیق مراحل فنولوژیک برخوردار است و با توجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژیک در مدیریت مزرعه و مدیریت نهاده های مصرفی (کود و سموم علفکش و آفت کش) برای رسیدن به حداکثر تولید دارند، به نظر می رسد مدل CERES-Wheat می تواند برای پیش بینی مراحل فنولوژیک در اقلیم های متفاوت و در نتیجه به عنوان یک ابزار در مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. برای تحقق این امر انجام آزمایشات مزرعه ای دقیق و استاندارد، برای تعیین ضرایب مؤثر در پیش بینی

مراحل فنولوژیک بوسیله برنامه GENCALC کاملاً ضروری است.

به دلیل دقت قابل توجه مدل CERES-Wheat در پیش بینی مراحل فنولوژیک تاکنون از این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده است. هاندل و پرابیوت (۱۱) مدل CERES-Wheat را برای شبیه سازی مراحل فنولوژیک و عملکرد گندم طی سالهای ۹۳ - ۱۹۸۵ در هندوستان به کار بردند. در این تحقیق مراحل فنولوژیک با دقت خوبی شبیه سازی شدند، بطوریکه اختلاف بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده برای تاریخ گرده افشانی بین ۶+ تا ۹- روز و برای رسیدگی فیزیولوژیکی بین ۳+ تا ۶- روز بود. در مطالعه دیگری که توسط وایست و همکاران (۲۶) صورت گرفت، اثرات نوسان درجه حرارت روی زمان گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی در مقیاس جهانی، با استفاده از مدل های CERES-Maize و CERES-Wheat برای گندم و ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهده شده حاصل از هر دو مدل نشان داد که مراحل فنولوژیک فوق با دقت خوبی برآورد شده اند.

از آنجایی که تسهیم مواد فتوسنتزی به هر یک از اندامهای رویشی یا زایشی از طریق ضریب اختصاص مواد فتوسنتزی به اندامها انجام می شود، که به صورت کسری از کل بیوماس تولیدی است و از آنجایی که ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی به اندامهای مختلف، وابستگی تام به مرحله فنولوژیکی گیاه دارند (۲۱)، بنابراین پیش بینی دقیق همه مراحل

جدول ۲- تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی شبیه سازی شده و مشاهده شده در آزمایش مشهد

رسیدگی فیزیولوژیکی (روز پس از کاشت)		گلدهی (روز پس از کاشت)		مرحله فنولوژیکی
شبهه سازی شده	مشاهده شده	شبهه سازی شده	مشاهده شده	نام رقم
۲۰۱	۱۹۶	۱۶۹	۱۷۲	روشن
۲۰۲	۲۰۰	۱۷۵	۱۷۶	بزوستایا
۲۰۲	۲۰۰	۱۷۰	۱۷۴	آزادی
۲۰۳	۱۹۸	۱۷۰	۱۷۳	قدس
۲۰۲	۲۰۰	۱۷۲	۱۷۴	الموت
۲۰۵	۲۰۰	۱۷۶	۱۷۸	الوند
۳/۸۱		۲/۶		مجذور میانگین مربعات خطا
۱۹/۹		۱۷/۴۵		۱۰٪ میانگین داده های مشاهده ای

زیادی دارد. از این رو انجام آزمایشات دقیق
مزرعه ای برای مشخص کردن این پارامترها برای
ارقام و محیط های مختلف کاملاً ضروری است.

فنولوژیکی و مشخص کردن فیلوکرون ارقام مختلف
در محیط های متفاوت، برای شبیه سازی دقیق بیوماس
اندامهای گیاهی و در نهایت عملکرد، اهمیت بسیار

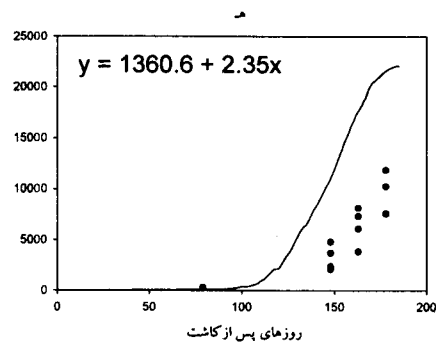
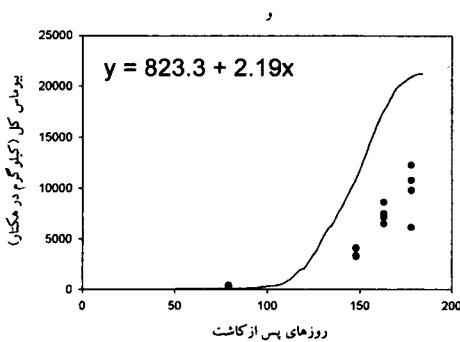
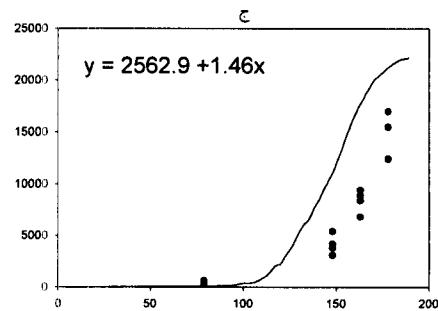
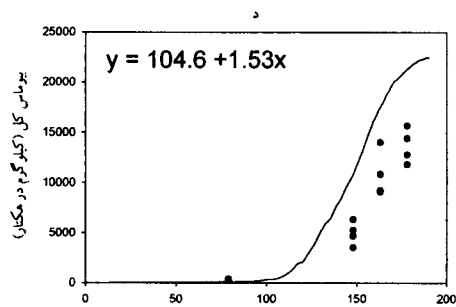
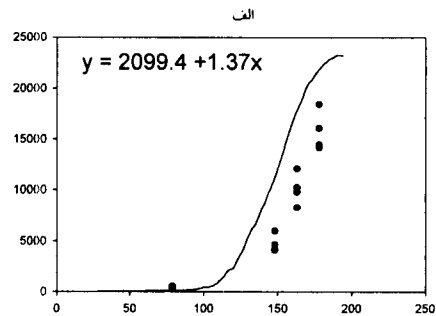
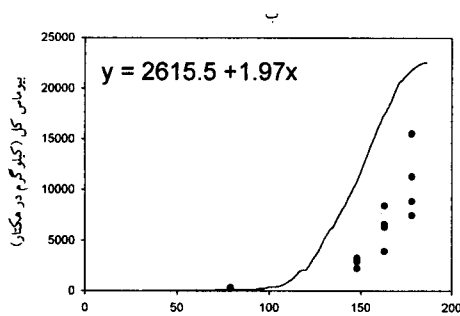
جدول ۳- تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی شبیه سازی شده و مشاهده شده در آزمایش بیرجند

رسیدگی فیزیولوژیکی (روز پس از کاشت)		گلدهی (روز پس از کاشت)		مرحله فنولوژیکی
شبهه سازی شده	مشاهده شده	شبهه سازی شده	مشاهده شده	نام رقم
۱۹۴	۱۸۴	۱۶۱	۱۶۰	روشن
۱۹۴	۱۸۶	۱۶۶	۱۶۳	بزوستایا
۱۹۴	۱۸۵	۱۶۲	۱۵۸	آزادی
۱۹۴	۱۸۵	۱۵۹	۱۵۹	قدس
۱۹۳	۱۸۵	۱۶۴	۱۶۱	الموت
۱۹۴	۱۸۴	۱۶۴	۱۵۹	الوند
۹/۰۴		۳/۱۶		مجذور میانگین مربعات خطا
۱۸/۴۸		۱۲/۶۵		۱۰٪ میانگین داده های مشاهده ای

شبیه سازی بیوماس

آزمایش بیرجند، در همه ارقام بیوماس شبیه سازی شده بیشتر از بیوماس تولید شده در مزرعه بوده است (شکل ۱) و دامنه همبستگی ۰/۸۹-۰/۹۷ برای همه ارقام وجود دارد.

شکل‌های (۱ و ۲)، شبیه سازی بیوماس در دو آزمایش بیرجند و مشهد را نشان می‌دهد. همانطور که در شکلها نشان داده شده است، مدل روند تولید بیوماس را به خوبی شبیه سازی کرده است.



شکل (۱) - روند تغییرات بیوماس کل شبیه سازی شده (خط پیوسته) و مشاهده شده (نقاط) در طی روزهای پس از کاشت در ارقام، روشن (الف)، بزوستایا (ب)، آزادی (ج)، قدس (د)، الموت (ه) و الوند (و) در آزمایش بیرجند

جذب شده، بعنوان کسری از تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در نظر گرفته شده و از طریق معادله زیر محاسبه می شود:

$$\text{معادله ۲} \quad \text{IPAR} = \text{PAR}[1 - \exp(-k \cdot \text{LAI})]$$

که در آن PAR، تشعشع فعال فتوسنتزی (معادل ۰/۵۰٪ تشعشع روزانه در نظر گرفته می شود)، K یا ضریب خاموشی نور که معادل ۰/۸۵- بوده و LAI، شاخص سطح برگ می باشد (۲۱). در مقایسه فرضیات مدل برای محاسبه بیوماس، با نتایج حاصل از آزمایشات مزرعه‌ای (۱) که برای ۵ رقم از ۶ رقم کاشته شده در این آزمایش (جدول ۴) مشخص شده است، مشاهده می شود که اختلاف زیادی بین فرضیات مدل و شرایط مزرعه‌ای وجود دارد. در مدل CERES-Wheat ضریب خاموشی نور بعد از بسته شدن کانوپی به صورت ثابت و معادل ۰/۸۵- در نظر گرفته شده است، در حالی که نتایج آزمایشی نشان می دهد که این ضریب در قبل و بعد از گرده افشانی ثابت نیست (جدول ۴). همچنین راندمان مصرف نور فرض شده در مدل ۴-۲/۴ گرم بر مگاژول است.

به نظر می رسد عامل اصلی عدم شبیه سازی دقیق بیوماس در عدم تطابق معادلات بکار رفته در مدل CERES-Wheat برای شبیه سازی بیوماس، با شرایط تولید بیوماس در مزرعه بوده است. در مدل‌های گروه CERES و از جمله در مدل CERES-Wheat برای شبیه سازی تولید بیوماس از مفهوم راندمان مصرف نور (RUE^۲)، که توسط موتیث (۱۷) ارائه شده است، استفاده می شود. بر این اساس زمانی که شرایط محیطی برای رشد گیاه در حد پتانسیل باشند (آب و عناصر غذایی کافی)، تولید بیوماس گیاه بطور خطی با جذب نور ارتباط خواهد داشت. بر این اساس، برای تولید روزانه بیوماس از معادله زیر استفاده می شود (۲۱):

$$\text{معادله ۱} \quad \text{PCARB} = \text{RUE} * \text{IPAR}$$

که در آن PCARB تولید بیوماس بالقوه (گرم در متر مربع)، RUE راندمان مصرف نور (گرم بر مگاژول) که برای گندم معادل ۴-۲/۴ گرم بر مگا ژول در نظر گرفته می شود و IPAR^۳، تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده می باشد (۲۱). تشعشع فعال فتوسنتزی

جدول ۴ - ضریب استهلاک نوری و راندمان مصرف نور در زمان گرده افشانی و دو هفته پس از آن (۱)

پارامترهای اندازه گیری شده	بزوستانیا	آزادی	قدس	الموت	الوند
ضریب استهلاک نوری	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۸۲	۰/۹۲
کارایی مصرف نور در گرده افشانی (گرم بر مگاژول)	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۴۵	۱/۵۴
کارایی مصرف نور دو هفته پس از گرده افشانی (گرم بر مگاژول)	۰/۶۵	۰/۸	۱/۱۳	۰/۹۵	۰/۷۴

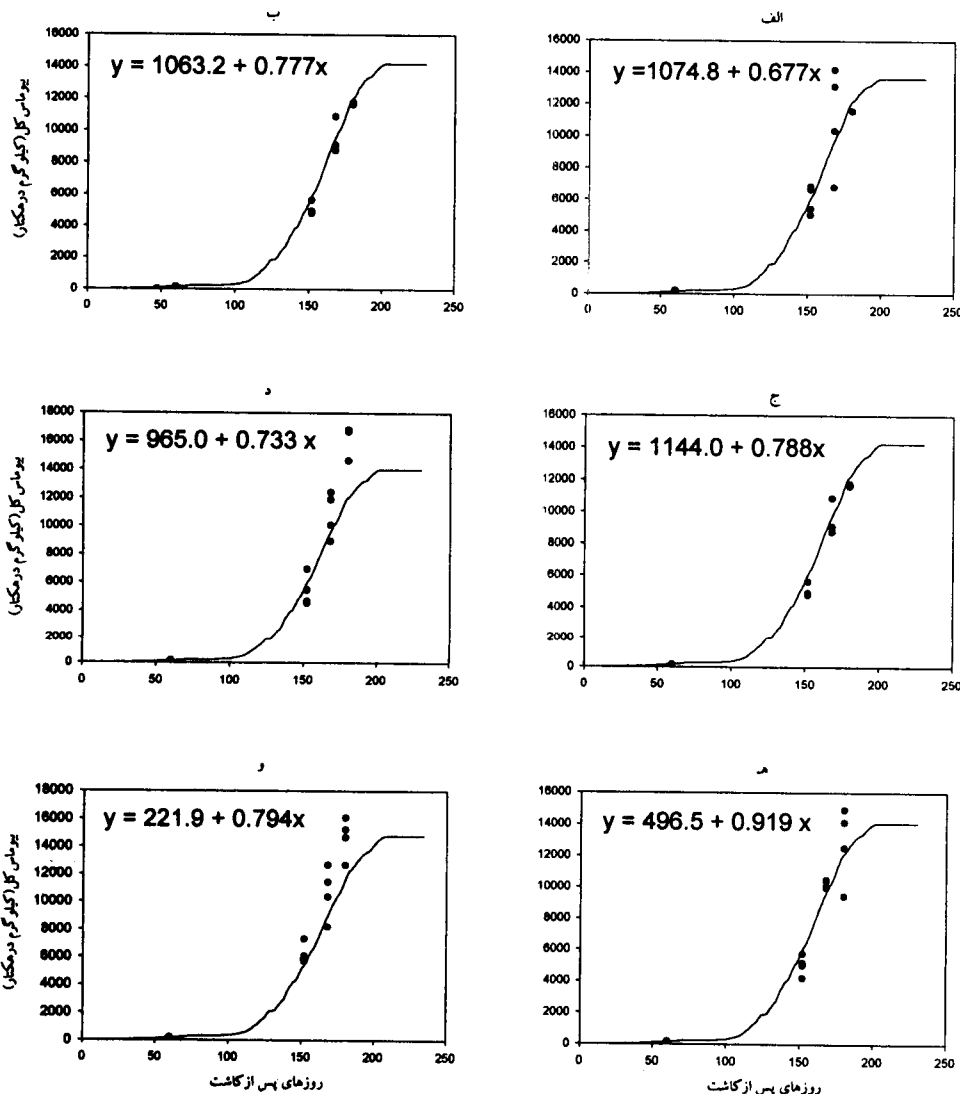
4- Photosynthetic Active Radiation

2- Radiation Use Efficiency

3- Intercepted Photosynthetic Active Radiation

باشد در حالیکه این امر اتفاق نیفتاده است که دلیل این امر می تواند به LAI مربوط باشد (جدول ۵). همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در اوایل فصل (قبل از گرده افشانی) به دلیل رشد سریع برگها و بالارفتن LAI، که می تواند به دلیل فراوانی آب و عناصر غذایی و بخصوص ازت اتفاق افتاده باشد، تولید بیوماس مشاهده شده بسیار بیشتر از بیوماس شبیه سازی شده بوده است.

نتایج شبیه سازی شده بیوماس در آزمایش مشهد (شکل ۲) نشان می دهد که بیوماس همه ارقام با دامنه همبستگی ۰/۹۹ - ۰/۹۴ با دقت بسیار خوبی شبیه سازی شده است. با توجه به معادلات «۱» و «۲» به کار رفته در مدل CERES-Wheat برای شبیه سازی بیوماس و شرایط بیان شده در آزمایش بیرجند، انتظار می رفت که در آزمایش مشهد نیز بیوماس شبیه سازی شده بیش از بیوماس مزرعه ای

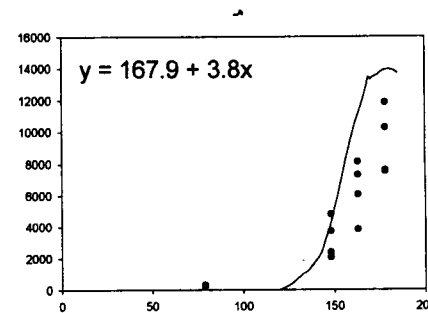
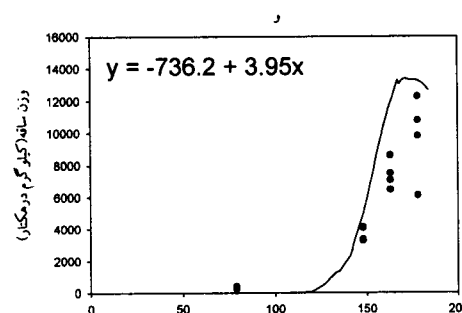
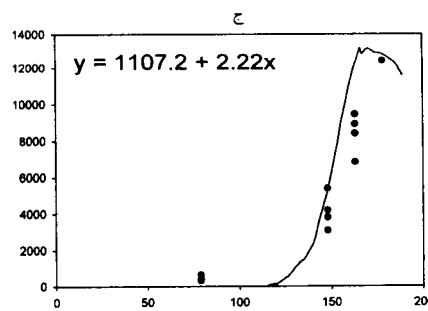
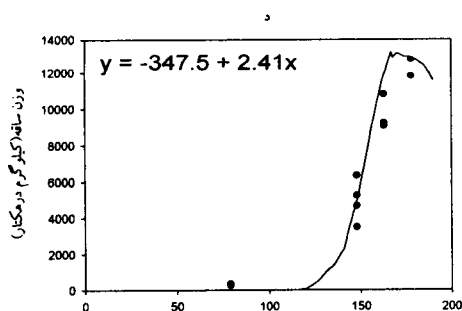
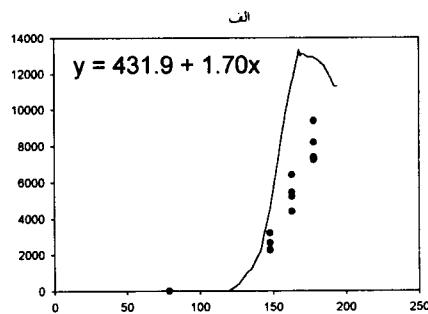
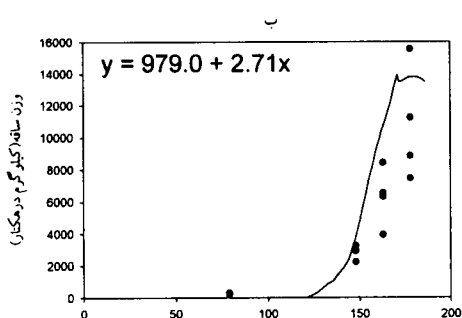


شکل (۲) - روند تغییرات بیوماس کل شبیه سازی شده (خط پیوسته) و مشاهده شده (نقاط) در طی روزهای پس از کاشت در ارقام، روشن (الف)، بزوستایا (ب)، آزادی (ج)، قدس (د)، الموت (ه) و الوند (و) در آزمایش مشهد

شبیه سازی وزن ساقه

الگوی تغییرات ضریب تخصیص ساقه، تابعی لجستیکی از تجمع واحدهای حرارتی در طی فصل رشد بوده و مقدار آن در فاصله سبز شدن تا

گرده افشانی افزایش می یابد (۲، ۵، ۷، ۱۱، ۱۹، ۲۳، ۲۴). این الگوی افزایش وزن ساقه در هر دو آزمایش و برای همه ارقام مشاهده می شود (شکل ۳ و ۴).



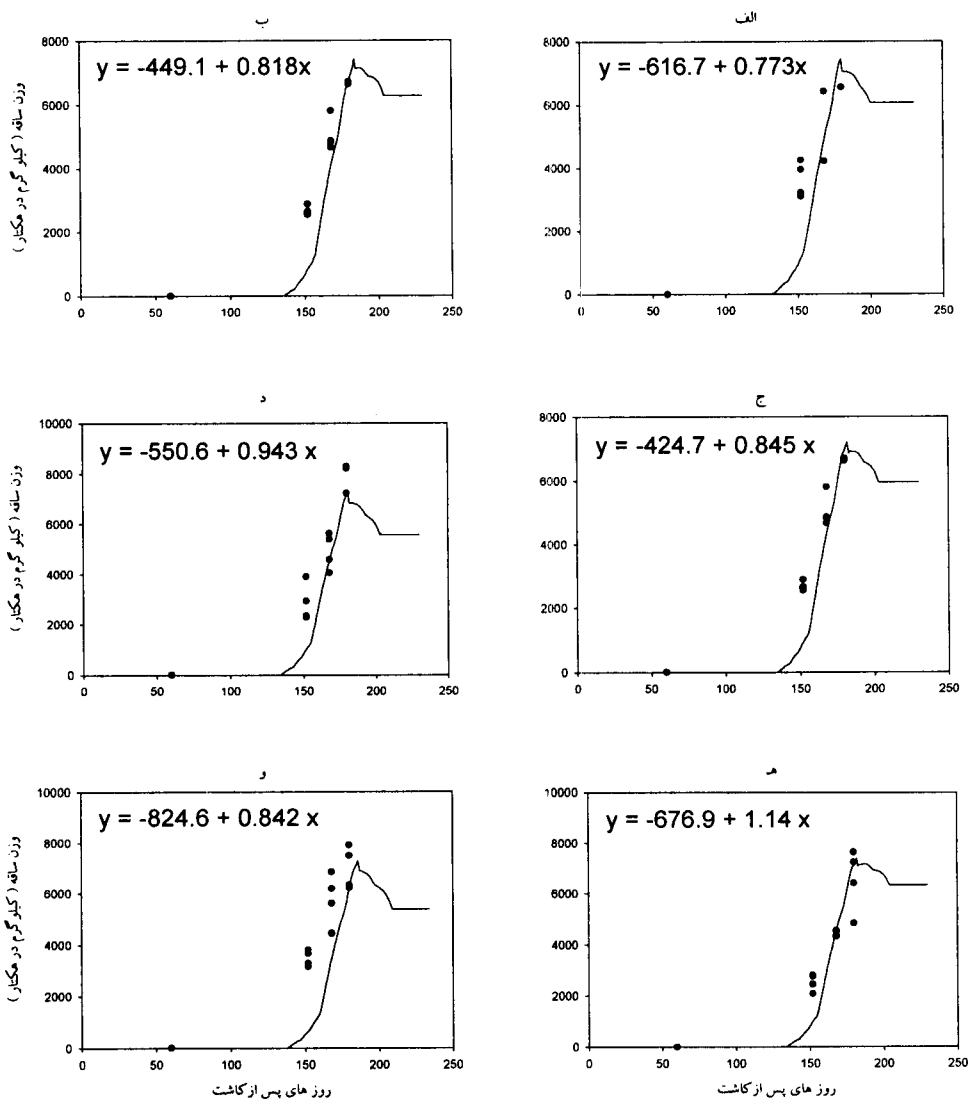
شکل (۳) - روند تغییرات وزن ساقه شبیه سازی شده (خط پیوسته) و مشاهده شده (نقاط) در طی روزهای پس از کاشت در ارقام، روشن (الف)، بزوستایا (ب)، آزادی (ج)، قدس (د)، الموت (هـ) و الوند (و) در آزمایش بیرجند

خوبی انجام شده است. در آزمایش بیرجند ضریب همبستگی داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده برای همه ارقام در دامنه ۰/۹۷ - ۰/۸۶ تغییر داشت و

همچنین مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهده شده وزن ساقه در دو آزمایش بیرجند و مشهد نشان داد که شبیه سازی وزن ساقه برای همه ارقام با دقت

القای گلدهی انجام نشده است، صورت نمی‌گیرد و زمانی که میانگره‌های ساقه شروع به طویل شدن می‌کنند، الگوی اختصاص مواد فتوسنتزی به سرعت تغییر کرده و ساقه‌ها بعنوان مخزن اصلی مواد فتوسنتزی به شمار می‌آیند (۲۱).

متوسط ضریب همبستگی وزن ساقه در این آزمایش ۰/۹۴ بود (شکل ۳). در آزمایش مشهد، ضریب همبستگی داده‌های شبیه سازی شده و مشاهده شده برای همه ارقام در دامنه ۰/۹۶ - ۰/۸۲ نوسان داشته و متوسط ضریب همبستگی وزن ساقه ۰/۹۳ بود (شکل ۴). در گندم طویل شدن ساقه تا زمانی که



شکل (۴) - روند تغییرات وزن ساقه شبیه سازی شده (خط پیوسته) و مشاهده شده (نقاط) در طی روزهای پس از کاشت در ارقام، روشن (الف)، بزوستایا (ب)، آزادی (ج)، قدس (د)، الموت (ه) و الوند (و) در آزمایش مشهد

نمونه گیری در زمان گرده افشانی برای تعیین دقیق ضریب G3 می باشد.

شبیه سازی شاخص سطح برگ

شبیه سازی شاخص سطح برگ آزمایش مشهد در جدول شماره (۵) و آزمایش بیرجند در جدول (۶) نشان داده شده است. متوسط ضریب همبستگی شاخص سطح برگ برای همه ارقام در آزمایش بیرجند ۰/۴۹ (با دامنه نوسان ۰/۵۶-۰/۴۵)، و در آزمایش مشهد با متوسط ضریب همبستگی ۰/۷۵ (و با دامنه نوسان ۰/۸۲-۰/۶۲) برای ارقام مختلف بوده است. مقایسه شاخص سطح برگ شبیه سازی شده و مشاهده شده در آزمایش مشهد (جدول ۵) نشان می دهد که شاخص سطح برگ مشاهده شده بجز در ابتدا و انتهای فصل رشد، (نمونه گیری اول و آخر) بسیار بیشتر از شاخص سطح برگ شبیه سازی شده بوده است. از طرف دیگر، علاوه بر اینکه حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده، در همه ارقام بسیار بیشتر از حداکثر شبیه سازی شده بوده، رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیز در همه ارقام بسیار زودتر از زمان گرده افشانی بوده است در حالیکه شریفی (۲) و کریمی و همکاران (۱۵) نشان دادند که رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ گندم پیش از وقوع گرده افشانی صورت می گیرد. به نظر میرسد این روند غیر معمول در شاخص سطح برگ، به دلیل فراهمی زیاد آب و بخصوص ازت در ابتدای فصل بوده است که پس ازورنالیزه شدن ارقام و با شروع روند افزایشی دمای هوا در انتهای

در مدل CERES-Wheat فرض شده است که ساقه ها یکی از اندامهای اصلی ذخیره ای برای مواد فتوسنتزی هستند که از این ذخیره در زمان پر شدن دانه ها استفاده می شود و از طرفی شبیه سازی تعداد دانه، از طریق وزن ساقه در زمان گرده افشانی تعیین می شود (۲۱)، از این رو شبیه سازی وزن ساقه اهمیت زیادی دارد و به دلیل این اهمیت، ضریب G3 در برنامه GENCALC برای شبیه سازی وزن ساقه در زمان گرده افشانی به کار می برد. همچنین در مدل CERES-Wheat از معادله زیر برای مشخص کردن آن بخش از کل ماده خشک تولیدی که به طور روزانه به ساقه اختصاص می یابد (PTF)، استفاده می شود (۲۱):

$$PTF = SWMIN / STMWT * 0.35 + 0.65$$

که در آن STMWT، وزن کل ساقه و SWMIN، وزن ساختمانی ساقه (که قابل انتقال نیست)، می باشد بنابراین وزن ساقه بطور روزانه و به میزان PTF* (CARBO) افزایش می یابد که این افزایش تا زمان پر شدن دانه ها ادامه دارد (۲۱). برای شبیه سازی دقیق وزن ساقه در زمان گرده افشانی، نمونه گیری مزرعه ای برای برآورد دقیق وزن ساقه در این زمان (ضریب G3) و نیز مشخص کردن زمان پر شدن دانه ها برای توقف انتقال مواد فتوسنتزی به ساقه و محاسبه دقیق تر میزان مواد فتوسنتزی ذخیره ای در ساقه، ضروری است. با توجه به مطالب بیان شده، به نظر می رسد عدم شبیه سازی دقیق وزن ساقه در این آزمایشات می تواند به دلیل عدم برآورد دقیق بیوماس کل و در نتیجه عدم شبیه سازی دقیق مقدار مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به ساقه و از طرفی عدم

فصل زمستان و ابتدای فصل بهار، باعث رشد بیش از حد برگها شده و رسیدن کانویی به حداکثر شاخص سطح برگ، بسیار زودتر از زمان معمول آن انجام شده است.

جدول ۵- شاخص سطح برگ مشاهده شده و شبیه سازی شده در طی روزهای پس از کاشت در آزمایش مشهد

رقم	روزهای پس از کاشت	مشاهده شده	شبیه سازی شده	معادله رگرسیون
روشن	۶۰	۰/۲۸	۰/۲۵	$y = 0.624 + 0.490x$
	۱۵۲	۷/۵	۴/۱	
	۱۶۸	۶/۸۴	۳/۷۲	
	۱۸۰	۳/۵۲	۳/۳۲	
بزوستایا	۶۰	۰/۱۳	۰/۲۴	$y = 0.668 + 0.555x$
	۱۵۲	۷/۷۱	۴/۴	
	۱۶۸	۵/۹۱	۴/۰۹	
	۱۸۰	۳/۸۲	۳/۷	
آزادی	۶۰	۰/۱۳	۰/۲۸	$y = 0.677 + 0.549x$
	۱۵۲	۷/۷۱	۴/۴	
	۱۶۸	۵/۹۱	۴/۰۴	
	۱۸۰	۳/۸۲	۳/۶۳	
قدس	۶۰	۰/۲۲	۰/۲۴	$y = 1.00 + 0.430x$
	۱۵۲	۷/۴۵	۴/۲۲	
	۱۶۸	۷/۳۱	۳/۷۳	
	۱۸۰	۲/۴۹	۳/۳۳	
الموت	۶۰	۰/۲۲	۰/۲۵	$y = 0.672 + 0.601x$
	۱۵۲	۶/۰۷	۴/۳۴	
	۱۶۸	۶/۰۷	۳/۸۴	
	۱۸۰	۲/۸۹	۳/۴۳	
الوند	۶۰	۰/۲۲	۰/۲۵	$y = 1.06 + 0.581x$
	۱۵۲	۳/۸۱	۳/۴	
	۱۶۸	۴/۶	۴/۱۵	
	۱۸۰	۲/۵۸	۳/۸۱	

، ولی به دلیل مشکل بودن کمی کردن اثر این عوامل و اثرات متقابل آنها، شبیه سازی سطح برگ ویژه مشکل بوده و در واقع مشکلات شبیه سازی شاخص سطح برگ به برآورد سطح برگ ویژه منتقل می شود (۳).

همانطور که بیان شد در مدل CERES-Wheat، تولید، رشد و تعداد برگها در ساقه اصلی و در پنجه ها و نیز مرگ و میر برگها و پنجه ها، در توسعه سطح برگها مؤثرند و از آنجائیکه همه این فرایندها در مدل از طریق زمان دمایی شبیه سازی می شوند و با توجه به ارتباط بسیار نزدیک زمان دمایی با فیلوکرون به نظر می رسد برای شبیه سازی دقیق شاخص سطح برگ که یک فاکتور بسیار مهم در شبیه سازی است و در واقع کل تولید مواد فتوسنتزی بر اساس آن محاسبه می شود، باید آزمایشات دقیق زراعی برای مشخص کردن فیلوکرون و سرعت توسعه برگها در ارقام مختلف، انجام شوند تا بتوان با استفاده از این داده ها، مدل را برای شبیه سازیهای فوق نیز کالیبره کرد.

با توجه به نتایج بیان شده، به نظر می رسد که مدل CERES-Wheat از توانایی و دقت لازم برای کمی کردن فتوسنتز، تنفس، اندام زایی، رشد، تجمع بیوماس و تخصیص مواد، رشد برگها ساقه، ریشه و دانه ها، جذب آب و ازت، تبخیر و تعرق و وضعیت نیتروژن گیاه برخوردار بوده و می تواند با اطمینان زیادی برای پیش بینی عملکرد و ارزیابی سیستم های تولیدی گندم مورد استفاده قرار گیرد.

از طرف دیگر ماهیت شبیه سازی شاخص سطح برگ در مدل CERES-Wheat نیز می تواند عدم شبیه سازی دقیق شاخص سطح برگ را به دنبال داشته باشد مدل CERES-Wheat برای شبیه سازی شاخص سطح برگ، ابتدا سطح برگ را در تک بوته گندم محاسبه کرده، سپس با توجه به میزان تراکم گیاه، شاخص سطح برگ، از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$LAI=(PLA- SENLA)* PLANTS/10000 \quad (21)$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ شبیه سازی شده، PLA، سطح برگ در تک بوته (ساقه اصلی) SENLA، سطح برگ پیر شده و PLANTS، تراکم گیاهی است. در شرایط بدون تنش، پیر شدن برگها (که فقط به مرحله نمو بستگی خواهد داشت) از پیر ترین برگ و پس از چهار برگی شدن گندم، شروع می شود (۶۰). سطح برگ تک بوته حاصل وزن برگ و نسبت سطح به وزن برگ (SLA)° است. سطح برگ ویژه در مدل CERES-Wheat بر اساس یک معادله تجربی که احتمالاً بر اساس داده های آمریکای شمالی به دست آمده است، شبیه سازی می شود.

$$SLA=(150-0.075* TDU)*1.1 \quad (3)$$

که در آن TDU^۶، زمان دمایی تجمع یافته است. تا کنون مشخص شده است که سطح برگ ویژه تحت تأثیر فاکتورهای زیادی از قبیل شدت نور، دما، نسبت مقصد - مخزن و غلظت CO₂ قرار می گیرد

5- Specific Leaf Area

6- Thermal Development Unit

جدول ۶- شاخص سطح برگ مشاهده شده و شبیه سازی شده در طی روزهای پس از کاشت در آزمایش پیرجند

رقم	روزهای پس از کاشت	مشاهده شده	شبیه سازی شده	معادله رگرسیون
روشن	۷۹	۰/۶۶	۰/۱۴	$y = 1.14 + 1.06x$
	۱۴۸	۲/۳۷	۶/۶۷	
	۱۶۳	۴/۷۱	۶/۰۳	
	۱۷۸	۴/۵۶	۴/۷۴	
بزوستایا	۷۹	۰/۳۱	۰/۱۱	$y = 0.864 + 1.87x$
	۱۴۸	۱/۸۲	۷/۱۱	
	۱۶۳	۳/۵۵	۶/۵	
	۱۷۸	۲/۳۶	۴/۷۹	
آزادی	۷۹	۰/۶۷	۰/۱۱	$y = -0.0404 + 1.73x$
	۱۴۸	۲/۱۴	۶/۱۵	
	۱۶۳	۳/۲۳	۵/۵۱	
	۱۷۸	۳/۱۴	۳/۹۵	
قدس	۷۹	۰/۴۳	۰/۱	$y = 1.15 + 1.23x$
	۱۴۸	۱/۸۷	۶/۳۲	
	۱۶۳	۴/۲۱	۵/۶۸	
	۱۷۸	۳/۰۵	۴/۳	
الموت	۷۹	۰/۳۶	۰/۱۲	$y = -0.606 + 3.28x$
	۱۴۸	۱/۶۳	۶/۹۴	
	۱۶۳	۲/۱۶	۶/۳۲	
	۱۷۸	۱/۹۴	۴/۱۵	
الوند	۷۹	۰/۴۶	۰/۱	$y = -0.704 + 2.97x$
	۱۴۸	۱/۵۶	۶/۳۲	
	۱۶۳	۲/۲۵	۵/۶۸	
	۱۷۸	۱/۸۳	۳/۲۱	

منابع

- ۱-زند، ا، ۱۳۷۹، مطالعه خصوصیات اکوفیزیولوژیک ارقام گندم ایرانی از نظر مرفولوژی، فیزیولوژی، رقابت درون و بین گونه ای، پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- شریفی، ح ، ۱۳۸۰، الگوی رشد و ضرایب تخصیص ماده خشک در ارقام گندم دیسم، پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 3-Banayan, M. 1999. Development and applying crop simulation models for forecast winter wheat yield. PhD. Thesis, Nott. Univ., UK.
- 4-Boote, K.J., M.J., Kropff and P.S. Bindraban. 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: implications for genetic improvement. *Agric. Systems* 70, 395-420.
- 5-Cao, W. and D.N. Moss. 1991. Vernalization and phyllochron in winter wheat. *Agron. J.* 83, 173-179.
- 6-Castrignano, A., N., Katerji, F., Karam, M., Mastrorilli and A. Hamdy. 1998. A modified version of CERES-Maize model for predicting crop response to salinity stress. *Ecol. Modelling* 111, 107-120.
- 7-Gardner, F.P. and R.D. Barnett. 1990. Vernalization of wheat cultivars and triticale. *Crop Sci.* 30, 166-169.
- 8-Hodges, T. and D.W. Evans. 1992. Leaf emergence and leaf duration related to thermal time calculation in CERES-Maize. *Agron. J.* 84, 724-730.
- 9-Hoogenboom, G., P.W., Wilkens and G.Y. Tsuji. 1999. DSSAT v3. Vol.4, University of Hawaii, HI, USA.
- 10-Hulme, M., E.M., Barrow, N.W., Arnell, P.A., Harrison, T.C., Johns and T.E. Downing. 1999. Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. *Nature* 397, 688-691.
- 11-Hundle, S. S. and Prabhjyot-Kaur. 1997. Application of the CERES- Wheat model to yield predictions in the irrigated plains of the Indian Punjab. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 129,13-18.
- 12- Hunt, L.A., S., Pararajasingham, J.W., Jones, G., Hoogenboom, D.T., Imamura and R.M. Ogoshi. 1993. GENCALC: Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiment. *Agron. J.* 85, 1090-1094.
- 13-Hunt, L.A. and S. pararajasingham. 1995. CROPSIM-WHEAT: A model describing the growth and development of wheat. *Can. J. Plant Sci.* 75, 619-632.
- 14-Jamieson, P.D., J.R., Porter, J., Goudriaan, J.T., Ritchie, H., Van Keulen and W. Stol. 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SHWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crops Research* 55, 23-44.
- 15-Karimi, M. and K.H.M. Siddique. 1991, crop growth and relation growth rates of old and modern wheat cultivars. *Aust. J. Agric. Res.* 42, 13-20.
- 16-Kropff, M.J., J., Bouma and J.W. Jones. 2001. Systems approaches for the decision of sustainable agro-ecosystems. *Agric. Systems* 70, 369-393.

- 17-Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society London Series B* 281, 277
- 18-Pang, X.P. 1995. Field and computer modeling study on soil probabilities, in the control sands of Minnesota : Percolation probability risk assessment of nitrate leaching, and percolation losses from drip vs. sprinkler irrigation. PhD. diss. Univ. of Minnesota st Paul (Diss Abstr. 95-41348).
- 19-Perry, M.W., K.H.M., Siddique and J.F. Wallace. 1987. Predicting phenological developments for Australian wheats. *Aust. J. Agric. Res.* 38, 809-819.
- 20-Ritchie, J.T. 1991. Wheat phasic development. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T. (Eds.), *Modelling Plant and Soil Systems. Agronomy Monograph no31*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp 31-54.
- 21-Ritchie, J.T., U., Singh, D.C., Godwin and W.T. Bowen. 1998. Cereal growth, development and yield. In: Tsuji, G.Y., G., Hoogenboom and P.K. Thornton, (Eds.). *Understanding options for agricultural production*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp. 79-98.
- 22-Shorter, R., R.J., Lawn and G.L. Hammer. 1991. Improving genotype adation in crops: a role for breeders, physiologists and modellers. *Exp. Agric.* 27, 155-175.
- 23-Taylor, H.M. and H.T. Nguyen. 1987. Opportunities for manipulating root systems to reduce drought stress in wheat. In: Srivastava, J.P., E., Proccedu, E., Acevedo and S. Varma, (Eds.). *Drought tolerance in winter cereals. Proceeding of an International Workshop, 23-31 October 1985, Capri, Italy*. John Wiley and Sons. pp. 285-299.
- 24-Trione, E.J. and R.J. Metzger 1970. Wheat and barley vernalization in a precise temperature gradient. *Crop Sci.* 10, 390-392.
- 25-Walker, T.S. and J.G. Ryan. 1990. *Village and household economics in Meriland, USA*. Press. Baltimore, Meriland, USA.
- 26-White, J. W., P. Grace, P. N. Fox, A. Rodriguez and J. Corbett. Modeling temperature-driven variation in wheat and maize priduction at a global ICASA, 15 Apr. 2002 [on-line]

CERES-Wheat Model Evaluation at Two Different Climatic Locations In Khorasan Province, II Phenology and Growth Parameter Simulation

A. Kiani¹, A.R. Koochaki², M. Nasiri Mahalati³, M. Banayan⁴

1- M.Sc. of Agriculture, 2,3,4- Professor and Assistant Professors, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Received : 20/11/2002

ABSTRACT

Crop growth simulation models simulate crop growth and development basis of underlying processes such as photosynthesis, respiration with due consideration of the environmental effects on these processes. The objective of this research was the evaluation of CERES-Wheat model simulation of different growth parameters as well as wheat phasic development prediction as compared with field experiment observations. To facilitate determination of the genotype coefficients, CENCALC software is used to the realization of cultivar differences. To evaluate the phenological results Root Mean Square Error (RMSE) was calculated which was zero for flowering in both experiments with RMSE for physiological maturity being 6.5 and 7.49 days for Mashhad and Birjand trials respectively. This was less than 10% of observation mean as a model accuracy. Biomass production time course was simulated accurately, however it overestimated the the total biomass. It seems that the main cause in biomass overestimation is the constant parameter in the model equations not being changeable by the user as well as these values differing from our observations.

Key words: Model, CERES wheat, Location, Biomass, Phenology