



بر آورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل DSSAT برای ارقام استان گلستان

*امیرحسین ماهرو کاشانی^۱، افشین سلطانی^۲، سرا... گالشی^۳ و مهدی کلاته عربی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۴ مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان

چکیده

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به عنوان مکمل کارآمد برای تحقیقات آزمایشی مطرح است. همچنین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی می‌توانند از نظر اتخاذ تصمیم مناسب در سیستم‌های کشاورزی مفید باشند. این مطالعه به منظور برآورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل شبیه‌سازی DSSAT در پیش‌بینی نمو و رشد و عملکرد گندم انجام شد. برای برآورد ضرایب و ارزیابی مدل DSSAT از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای مختلف برای چهار رقم گندم کوه‌دشت، شیرودی، تجن و زاگرس که از ارقام مورد استفاده در استان گلستان هستند، استفاده شد. بعد از برآورد پارامترهای ژنتیکی، توانایی مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی، تولید ماده خشک در گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ در گرده‌افشانی، تجمع نیتروژن در گرده‌افشانی و رسیدگی و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای عملکرد جذر میانگین مربعات خطا برابر ۶۶۸ کیلوگرم در هکتار بود که ۱۸/۲ درصد میانگین عملکرد می‌باشد. پیش‌بینی‌های مدل برای سایر ویژگی‌های رشد و نمو نیز مناسب بودند. بنابراین، می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی این ارقام استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: گندم، شبیه‌سازی، مدل DSSAT، رشد و نمو

*- مسئول مکاتبه: amirmahru@yahoo.com

مقدمه

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی که رشد گیاه، مصرف آب و عملکرد را پیش‌بینی می‌کنند، با اهدافی نظیر درک واکنش گیاهان زراعی به تغییرات سیستم اقلیم، گیاه و آب ارزیابی صفات فیزیولوژیک جهت بهبود ژنتیکی عملکرد و کمک به تصمیم‌سازی‌ها جهت بهینه‌سازی استفاده از منابع قابل دسترس مورد استفاده قرار می‌گیرند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶a). امروزه از مدل‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی راهبردهای مختلف مدیریت زراعی و به‌نژادی در راستای بهینه‌سازی استفاده از منابع موجود استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از این مدل‌ها، هزینه‌ها و زمان مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها کاهش می‌یابد و علاوه بر آن می‌توان با این مدل‌ها به جای چند سال آزمایش در مزرعه، با کمک آمار هواشناسی بلند مدت گیاه مورد نظر را چندین سال با استفاده از مدل کاشت کرد و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار داد (سلطانی و هوگنبوم، ۲۰۰۷). از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، تعیین بهترین مدیریت زراعی، پیش‌بینی اثر تنوع و تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه استفاده شده است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۴-الف).

مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (برای بیش از ۲۰ گیاه زراعی مختلف) و برنامه‌های کامپیوتری در یک بسته نرم‌افزاری به‌منظور تسهیل در کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در تحقیقات و تصمیمات جمع شده‌اند (سلطانی و هوگنبوم، ۲۰۰۷). مدل DSSAT از CERES-Wheat و CROPSIM-Wheat مشتق شده است (جونز و همکاران، ۲۰۰۳، هوگنبوم و همکاران، ۲۰۰۴). این نرم‌افزار در بیش از ۹۰ کشور دنیا توزیع شده است و توسط بسیاری از محققان از اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفته است (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). جونز و همکاران (۲۰۰۳) بیش از ۱۲۰ مطالعه انجام شده توسط مدل DSSAT در کل دنیا، از شمال آمریکا تا آفریقا را لیست کرده‌اند. در این مطالعات، مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی DSSAT برای تعیین عملیات مطلوب مدیریتی محصولات، مدیریت کود، مدیریت آبیاری، کشاورزی دقیق، مدیریت آفت، تنوع و تغییر اقلیم، آلودگی محیط و آموزش استفاده شد (سلطانی و هوگنبوم، ۲۰۰۷).

دقت شبیه‌سازی صورت گرفته به وسیله‌ی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی بستگی به کیفیت داده‌های مورد استفاده، به خصوص در قسمت پارامترهای گیاهی، به‌عنوان ورودی دارد. در مطالعات

قبلی (کیانی و همکاران، ۲۰۰۴؛ اندرزیان و همکاران، ۲۰۰۸) که برای شبیه‌سازی نمو، رشد و عملکرد توسط مدل DSSAT در ایران صورت گرفته است از واسنجی برای برآورد پارامترها استفاده شده است در حالی که اگر هر پارامتر با توجه به مفهوم و تعریف آن و از طریق آزمایش دقیقاً برآورد شود دقت و صحت شبیه‌سازی‌ها افزایش خواهند یافت.

این مطالعه با اهداف برآورد دقیق ضرایب ژنتیکی ارقام گندم مورد کشت در استان گلستان برای مدل ذکر شده و ارزیابی مدل DSSAT برای شبیه‌سازی نمو، رشد و عملکرد گندم در شرایط آب و هوایی استان گلستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

ساختار مدل: مدل DSSAT نسخه ۴ در این مطالعه استفاده شده است. این مدل می‌تواند رشد و نمو و عملکرد گندم را در شرایط دیم و آبی در یک محدوده از عرض جغرافیایی هم در نیمکره شمالی و جنوبی شبیه‌سازی می‌نماید (جونز و همکاران، ۲۰۰۳).

نمو فنولوژیک: چگونگی شبیه‌سازی بعضی از ویژگی‌های نمو تحت تاثیر دما (مستقل از فتوپریود و دیگر محدودیت‌های محیطی) مهم به نظر می‌رسد. مدل CERES برای پیش‌بینی مراحل نمو گیاه از زمان حرارتی (ترمال تایم) استفاده می‌کند. آسان‌ترین و کاربردی‌ترین تعریف زمان حرارتی (t_d) به صورت معادله (۱) است:

$$t_d = \sum_{i=1}^n (T_a - T_b) \quad (1)$$

T_a میانگین دمای روزانه و T_b دمای پایه (دمایی که در آن و پایین‌تر از آن نمو متوقف می‌شود یا سرعت نمو صفر است) و n تعداد روز (از کاشت تا هر مرحله فنولوژیکی) است. محاسبه T_a در مدل‌های گروه CERES به وسیله میانگین‌گیری دماهای حداکثر و حداقل روزانه صورت می‌گیرد. محاسبه زمان حرارتی مناسب‌ترین راه برای پیش‌بینی نمو گیاه است. طول شب (یا روز) می‌تواند سرعت پیشروی گیاه به سوی مرحله زایشی را تحت تاثیر قرار دهد. واکنش به فتوپریود در گیاهان مختلف در حال رشد از طریق تعداد کل برگ‌های توسعه یافته مشخص می‌گردد. میزان تغییر سرعت نمو در واکنش به فتوپریود به صورت ضریب خاصی در مدل وارد می‌شود. تغییر این ضریب ($P1D$) در گندم و جو وابسته به زمان حرارتی است. معمولاً ارقام گندم و جو زمستانه قبل از خوشه رفتن باید

در معرض دماهای نسبتاً پایین قرار گیرند. این نیاز به دمای پایین برای گلدهی هر دو گیاه، بهاره‌سازی نامیده می‌شود که در سبز شدن شروع می‌شود. فرض بر این است که بهاره‌سازی در دمای بین صفر تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد. دمای مطلوب برای بهاره‌سازی در محدوده‌ی صفر تا ۷ درجه سانتی‌گراد در مدل در نظر گرفته می‌شود و دماهای بین ۷ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد تاثیر کاهشی بر روی این فرآیند دارد (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۸). برای محاسبه تاثیر فاکتور بهاره‌سازی از دماهای حداقل و حداکثر روزانه می‌شود که محدوده‌ی این فاکتور بین صفر و یک است (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۸؛ ماهرو کاشانی، ۲۰۱۰).

تغییرات سطح برگ: در همه مدل‌های گروه CERES، پیرشدن برگ با تکامل برگ گیاه پیوستگی دارد. در گندم و جو، پیرشدن برگ هنگامی اتفاق می‌افتد که بیش از ۴ برگ سبز در ساقه اصلی یا پنجه وجود دارد. بنابراین، فقط ۴ برگ توسعه یافته سبز در نظر گرفته می‌شوند در حالی که بقیه پیر شده‌اند. این الگوی طبیعی زمانی شتاب می‌یابد که تراکم و شاخص سطح برگ در جامعه گیاهی زیاد باشد که این امر باعث می‌شود برگ‌های پایینی در سایه قرار گرفته و پیری آنها تسریع شود. همچنین کمبود آب و نیتروژن پیری را تسریع می‌کنند. بعد از اینکه پیری تعیین شد، شاخص سطح برگ سبز را می‌توان از کل سطح برگ گیاه (PLA) حساب کرد و پیر شدن سطح برگ هم (SENLA) هم به این صورت در معادله ذیل بیان می‌شود (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۸):

$$LAI = (PLA - SENLA) \times PLANTS / 10000 \quad (2)$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده، PLA سطح برگ در تک بوته، SENLA سطح برگ پیر شده و PLANTS تراکم گیاهی (گیاه در متر مربع) است. عدد ۱۰۰۰۰ برای تبدیل واحد PLA و SENLA از سانتی‌متر مربع به متر مربع است.

تولید و توزیع ماده خشک: مانیت (۱۹۷۷) نشان داد که تجمع فصلی نور دریافتی برای چندین محصول تحت شرایط عدم محدودیت آب و مواد غذایی رابطه خطی با تولید بیوماس دارد. به همین دلیل از مفهوم راندمان استفاده از تشعشع برای محاسبه تولید بیوماس در مدل‌های گروه CERES استفاده شد. در مدل CERES نور دریافت شده توسط محصول به صورت تشعشع فعال فتوسنتزی بیان می‌شود که مقدار آن حدود نیمی از تشعشع ورودی روزانه است (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۸).

معادله استفاده شده برای تولید پتانسیل بیوماس روزانه به صورت زیر می‌باشد (ریتیچی و همکاران، ۱۹۹۸):

$$PCARB = RUE \times IPAR \quad (3)$$

که در آن PCARB تولید بیوماس بالقوه (گرم در متر مربع)، تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) مگاژول بر متر مربع، RUE راندمان مصرف نور (گرم بر مگاژول) که برای گندم معادل ۴-۲/۴ گرم بر مگاژول در نظر گرفته می‌شود و IPAR کسر تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده روزانه می‌باشد که از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$IPAR = PAR[1 - \exp(-k \times LAI)] \quad (4)$$

که در آن K ضریب خاموشی و LAI شاخص سطح برگ سبز جامعه گیاهی است (ریتیچی و همکاران، ۱۹۹۸).

عملکرد: تعداد دانه در واحد سطح معمولاً عامل تعیین کننده عملکرد است. فیشر (۱۹۸۵) ثابت کرد که همبستگی خوبی بین تعداد دانه و تشعشع خورشیدی جذب شده در ۳۰ روز قبل از گرده‌افشانی وجود دارد. همچنین فیشر گزارش کرد که نسبت تشعشع خورشیدی روزانه جذب شده با میانگین دمایی بالاتر از ۴/۵ درجه سانتی‌گراد در ۳۰ روز قبل از گرده‌افشانی همبستگی خوبی با تعداد دانه دارد نسبت به این که فقط تعداد دانه همبستگی با تشعشع خورشیدی بدون احتساب اثر دما داشت. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی که تعداد دانه را قبل از پرشدن دانه حساب می‌کنند، سرعت پرشدن هر دانه را با استفاده از رویه منبع- مقصد- ذخیره حساب می‌کنند. ظرفیت یک مخزن بر اساس دما و ضریب گیاهی محاسبه می‌شود که این ضریب سرعت رشد پتانسیل روزانه هر دانه در شرایط مطلوب دمایی است. تابع عملکرد وابسته به دما مطلوبیت گسترده‌ای دارد و فقط دماهای سرد و گرم غیر معمول باعث کاهش در سرعت رشد دانه می‌شوند. عملکرد نهایی از حاصلضرب تعداد دانه در بوته، وزن تک دانه و تعداد دانه در واحد سطح محاسبه می‌شود (ریتیچی و همکاران، ۱۹۹۸؛ ماهرو کاشانی، ۲۰۱۰).

ورودی و خروجی مدل: مدل DSSAT به اطلاعات ورودی مربوط به هوا، خاک، مدیریت زراعی و رقم زراعی نیاز دارد. قبل از اجرای مدل، لازم است این ورودی‌ها در اختیار مدل قرار گیرند.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

الف) اطلاعات هواشناسی: داده‌های روزانه مربوط به دمای حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی.

ب) اطلاعات خاکشناسی: بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هر یک از لایه‌ها، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان هدایت الکتریکی و pH هر لایه.

ج) مدیریت زراعی: نوع رقم و تیپ بهاره یا پاییزه، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطوط، تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری و مقدار آب آبیاری.

د) رقم زراعی: شامل پارامترهای ژنتیکی مثل تاثیر بهاره‌سازی (PIV) و فتوپریود (PID) بر نمو، طول دوره پر شدن دانه (P5)، فیلوکرون (PHINT) و پارامترهای مربوط به رشد دانه G1، G2 و G3 می‌باشد (جدول ۱).

مدل با دریافت ورودی‌ها، محاسبات را از زمان کاشت تا رسیدگی انجام می‌دهد و مراحل فنولوژی، تجمع و تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین میزان رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تاثیر تنش‌های آب و نیتروژن بر رشد و نمو گیاه را شبیه‌سازی می‌نماید.

جدول ۱- علائم اختصاری و تعاریف هر یک از ضرایب ژنتیکی مربوط به گندم در مدل DSSAT

ضرایب	توضیح ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT
PIV	تاخیر نسبی در سرعت نمو برای هر روز بهاره‌سازی انجام نشده
P1D	مقدار نسبی کاهش سرعت نمو برای فتوپریود کوتاه‌تر از حالت مطلوب (۲۰ ساعت)
P5	طول دوره خطی پر شدن دانه بر حسب درجه روز
G1	تعداد دانه در هر واحد وزن جامعه گیاهی در واحد سطح در گرده‌افشانی بر حسب تعداد در گرم
G2	سرعت بالقوه رشد دانه بر حسب میلی‌گرم در روز
G3	وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد، هنگامی که رشد ساقه متوقف می‌شود، شامل پهنک و غلاف برگ به‌علاوه خوشه بر حسب گرم
PHINT	زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی بر حسب درجه روز

داده‌های مورد استفاده: به‌منظور شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گندم با مدل DSSAT در شرایط اقلیمی استان گلستان، از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای استخراج شده از همین مطالعه و همچنین پایان‌نامه‌های اجرا شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و آزمایش‌های مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان در سطح استان برای چهار رقم گندم کوهدشت، شیرودی، تجن و زاگرس که از ارقام مورد استفاده در استان گلستان هستند در طی سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴، ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات آزمایش‌های مورد استفاده برای برآورد پارامترها و ارزیابی مدل DSSAT.

منبع	تیمارها	مکان و سال آزمایش
آزمایش‌های مورد استفاده برای برآورد پارامتر		
عرب عامری، ۲۰۰۸	رقم گندم، تاریخ کاشت	گرگان، ۸۵-۱۳۸۴
احمدی، ۲۰۰۸	رقم گندم، تاریخ کاشت	گرگان، ۸۵-۱۳۸۴
میردوردوست، ۲۰۰۸	رقم گندم، تیمار بهاره‌سازی	گرگان، ۸۵-۱۳۸۴
خاوری، ۲۰۰۸	رقم گندم، تاریخ کاشت	گرگان، ۸۵-۱۳۸۴
آزمایش‌های مورد استفاده برای ارزیابی		
مرکز تحقیقات کشاورزی گلستان	رقم گندم	کلاله، ۸۵-۱۳۸۴
مرکز تحقیقات کشاورزی گلستان	رقم گندم	دوزین مینودشت، ۸۵-۱۳۸۴
مداح یزدی، ۲۰۰۷	رقم گندم	گرگان، ۸۵-۱۳۸۴
جعفری، ۲۰۰۸	رقم گندم، تراکم	گرگان، ۸۶-۱۳۸۵
زینلی، ۲۰۰۹	رقم گندم	گرگان، ۸۶-۱۳۸۵
ماهرو کاشانی، همین مطالعه	رقم گندم، کود نیتروژن	گرگان، ۸۷-۱۳۸۶
ماهرو کاشانی، همین مطالعه	رقم گندم، تراکم	گرگان، ۸۷-۱۳۸۶
دستمالچی، ۲۰۱۰	رقم گندم، تاریخ کاشت	گرگان، ۸۷-۱۳۸۶

الف) برآورد پارامترها: ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT برای شرایط محیطی استان گلستان برای ارقام گندم (کوهدشت، شیرودی، تجن و زاگرس) با استفاده از داده‌های آزمایش‌های قبلی محاسبه شدند که در ذیل توضیح آن‌ها آمده است.

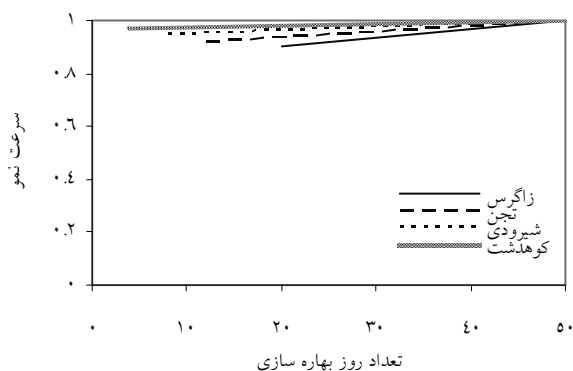
ضریب حساسیت به بهاره‌سازی (PIV): در مدل DSSAT، ضریب PIV برای تعیین حساسیت ارقام گندم به بهاره‌سازی به کار می‌رود به طوری که گیاهانی که به طور کامل بهاره‌سازی نمی‌شوند، نمو آن‌ها به تاخیر می‌افتد. به طور کلی ضریب PIV در واقع شیب (K) واکنش سرعت نمو به تعداد روز بهاره‌سازی می‌باشد (شکل ۱):

$$RDR = 1 - K (50 - V_D)$$

$$PIV = \{(K \times 183) - 0.55\} \times 10 \quad (5)$$

که در آن RDR سرعت نمو نسبی، K شیب خط واکنش سرعت نمو نسبی به تعداد روز بهاره‌سازی و V_D تعداد روز بهاره‌سازی می‌باشند.

سازندگان DSSAT با ضرب این ضریب (PIV) در اعدادی سعی کردند به آن مفهوم تاخیر نسبی در سرعت نمو برای هر روز بهاره‌سازی انجام نشده بدهند. ضریب PIV تاخیر در نمو گیاه به ازای هر روز تاخیر را نشان می‌دهد، به طوری که هر چه نیاز سرمایی رقم بیشتر باشد، PIV به ازای هر روز برآورده نشدن نیاز بهاره‌سازی، مقدار بیشتری خواهد داشت. مقادیر K برای ارقام گندم کوهدشت، شیروودی، تجن و زاگرس به ترتیب برابر با ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۰۶ و ۰/۰۰۰۸ بود که از میرداوردوست (۲۰۰۸) استخراج و با استفاده از معادله (۵) تبدیل به PIV شد.



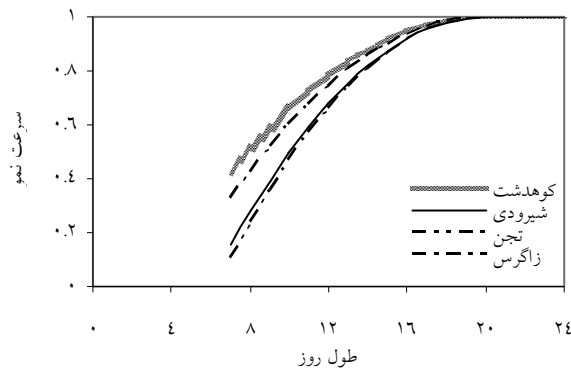
شکل ۱- واکنش سرعت نمو به تعداد روز بهاره‌سازی شده در ارقام مختلف گندم (میرداوردوست، ۲۰۰۸).

ضریب حساسیت به فتوپریود (PID): در ارقام مختلف گندم اختلافات ژنتیکی از نظر حساسیت به طول روز وجود دارد و میزان تاخیر در نمو گندم در صورت عدم تامین طول روز مطلوب، بستگی به حساسیت رقم به فتوپریود خواهد داشت. سرعت تغییر نمو با فتوپریود به صورت ضریبی خاص برای ارقام زراعی در مدل DSSAT بیان می‌شود (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۸). این ضریب (C) واکنش سرعت نمو به طول روز می‌باشد (شکل ۲):

$$RDR = 1 - C (20 - P)^2$$

$$PID = C \times 10000 \quad (6)$$

که در آن C ضریب واکنش سرعت نمو نسبی به فتوپریود و P فتوپریود می‌باشند. سازندگان DSSAT با ضرب این ضریب در ۱۰۰۰۰ سعی کردند به آن مفهوم مقدار نسبی کاهش نمو برای فتوپریودی کوتاه‌تر از حالت مطلوب ۲۰ ساعت را بدهند. مقادیر C ارقام گندم کوهدشت، شیروودی، تجن و زاگرس به ترتیب برابر با ۰/۰۰۳۴، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۵۳ و ۰/۰۰۰۴ بود که از احمدی (۲۰۰۸) استخراج و با استفاده از معادله (۶) تبدیل به PID شد.



شکل ۲- واکنش سرعت نمو به طول روز در ارقام مختلف گندم (احمدی، ۲۰۰۸).

ضریب P5: این ضریب طول دوره‌ی پرشدن دانه‌ها را از شروع پرشدن تا رسیدگی فیزیولوژیک بر اساس درجه روز نشان می‌دهد. در این مطالعه مقادیر P5 ارقام مختلف گندم از عرب‌عامری (۲۰۰۸) برآورد شد.

ضریب G1: این ضریب بیانگر تعداد دانه در هر واحد وزن کانوپی در واحد سطح (متر مربع) در زمان گرده‌افشانی است. در این مطالعه مقادیر G1 ارقام مختلف گندم از عرب‌عامری (۲۰۰۸) با استفاده از معادله (۷) محاسبه شد:

$$G1 = (\text{وزن خشک کل در گرده‌افشانی در واحد سطح بر حسب گرم در متر مربع}) \div (\text{تعداد دانه}) \quad (7)$$

ضریب G2: این ضریب بیانگر سرعت بالقوه رشد دانه (وزن هر دانه) بر حسب میلی‌گرم در روز است. از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پرشدن دانه و وزن دانه استفاده می‌شود. به عبارت دیگر این ضریب برای تبدیل وزن همه یا قسمتی از یک اندام گیاهی مانند خوشه یا ساقه به تعداد دانه استفاده می‌شود (ریتچی و همکاران، ۱۹۹۸). در این مطالعه مقادیر G2 ارقام مختلف گندم از عرب‌عامری (۲۰۰۸) طبق معادله (۸) گزارش شده است.

$$G2 = [(\text{تعداد دانه در رسیدگی}) \div (\text{وزن دانه})] \times 1000 \quad (8)$$

ضریب G3: این ضریب بیانگر وزن خشک یک عدد پنجه در زمان رسیدگی که شامل دانه هم هست را بر حسب گرم نشان می‌دهد. عدد یک در معادله (۹) برای محاسبه ساقه اصلی است. در این مطالعه مقادیر G3 ارقام مختلف گندم از عرب‌عامری (۲۰۰۸) و خاوری (۲۰۰۸) با استفاده از معادله (۹) محاسبه شد.

$$G3 = (1 + \text{تعداد پنجه در زمان رسیدگی}) \div (\text{بیوماس کل بر حسب گرم}) \quad (9)$$

ضریب PHINT: این ضریب فاصله‌ی بین ظهور نوک دو برگ متوالی^۱ را با واحد درجه روز نشان می‌دهد. در این مطالعه مقادیر PHINT ارقام مختلف گندم از خاوری (۲۰۰۸) گرفته شده است.

1 -Phyllochron

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی مورد استفاده در مدل DSSAT در ارقام مختلف گندم.

ارقام	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
کوهدشت	۰	۳۴	۷۱۰	۱۶	۳۸	۱/۴	۱۰۲
شیروودی	۱	۵۰	۶۹۶	۱۳	۴۱	۱/۶	۱۰۴
تجن	۶	۵۳	۷۰۷	۱۷	۳۵	۱/۳	۹۵
زاگرس	۱۰	۴۰	۷۲۸	۱۳	۴۲	۱/۵	۹۵

ارزیابی مدل: بعد از برآورد ضرایب گیاهی مدل DSSAT با استفاده از آزمایش‌های قسمت برآورد پارامترها، مدل ارزیابی و خروجی آن را با مقادیر واقعی مقایسه شد. برای ارزیابی مدل، روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی، سطح برگ در گرده‌افشانی، بیوماس در گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، تجمع نیتروژن در تاج در گرده‌افشانی و رسیدگی و عملکرد مشاهده شده با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه شدند. به این منظور از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشاتی که از قبل کنار گذاشته شده بودند و در برآورد ضرایب ژنتیکی مدل به کار نرفته بودند، استفاده شد. برای تعیین ضرایب ژنتیکی مدل از داده‌های منابع (احمدی، ۲۰۰۸؛ خاوری، ۲۰۰۸؛ عرب عامری، ۲۰۰۸ و میرداوردوست، ۲۰۰۸) استفاده شد. در هر مورد برای انجام شبیه‌سازی‌ها، ورودی‌های مورد نیاز برای اجرای مدل جمع‌آوری شدند. به این منظور آمار هواشناسی شامل حداکثر دما، حداقل دما، بارندگی و تشعشع خورشیدی (محاسبه شده با استفاده از تعداد ساعات آفتابی) و ورودی‌های مربوط به مدیریت زراعی و خاک مطابق گزارش منابع بالا مورد استفاده قرار گرفتند.

همچنین برای ارزیابی نتایج مدل در مورد فنولوژی (روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی)، شاخص سطح برگ گرده‌افشانی، بیوماس گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد از شاخص‌های ارزیابی مثل جذر میانگین مربع خطا^۱ (RMSE)، ضریب تغییرات^۲ (C.V)، ضریب همبستگی^۳ (r) و میزان انحراف نتایج پیش‌بینی شده از خط ۱:۱ و خطوط ± 20 استفاده شد (سلطانی، ۲۰۰۷).

-
- 1- Root Mean Square Errors
 - 2- Coefficient of Variation
 - 3- Coefficient of Correlation

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

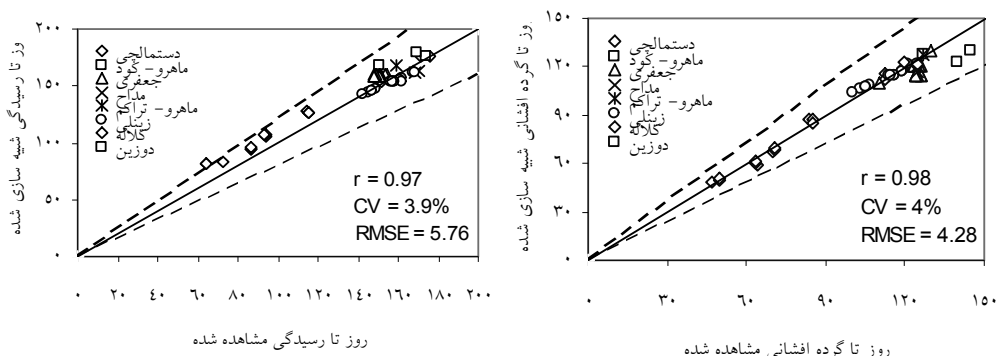
فنولوژی: نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی (گرده‌افشانی و رسیدگی) برای چهار رقم گندم کوه‌دشت، شیرودی، تجن و زاگرس نشان داد که مدل DSSAT با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه‌سازی نموده است، نتایج حاصل از ارزیابی فنولوژی مدل نشان داد مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی به ترتیب ۴/۲ و ۵/۷ روز است که حدود ۴ درصد میانگین روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی مشاهده شده هستند. همچنین همبستگی بالا بین روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی مشاهده شده و پیش‌بینی شده (به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۷) نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی فنولوژی موفق بوده است (شکل ۳). یکی از دلایل دقت بالای پیش‌بینی فنولوژی توسط مدل DSSAT در این مطالعه را می‌توان برآورد دقیق ضرایب ژنتیکی ارقام گندم در مورد فنولوژی ذکر نمود. در این مطالعه بر خلاف بسیاری از تحقیقات گذشته از واسنجی برای برآورد پارامترها استفاده نشد، بلکه سعی شد هر پارامتر با توجه به مفهوم و تعریف آن، از داده‌های آزمایش‌های انجام شده برآورد شوند. دلیل دیگر می‌تواند دقت در ثبت مراحل مختلف فنولوژیکی در آزمایش‌های استفاده شده برای برآورد پارامترها و نیز ارزیابی مدل باشد. از طرف دیگر به نظر می‌رسد که ساختار مناسب مدل برای شبیه‌سازی فنولوژی همان‌طور که در بخش ساختار مدل بیان شد دلیل دیگری در پیش‌بینی دقیق فنولوژی توسط مدل DSSAT باشد.

با توجه به دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژی، تاکنون از این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده است. کیانی و همکاران (۲۰۰۴) مراحل فنولوژی را برای شش رقم گندم در دو منطقه بیرجند و مشهد به وسیله مدل CERES-Wheat شبیه‌سازی و گزارش نمودند که مدل با دقت بالایی (کمتر از ۱۰ درصد میانگین مشاهدات) مراحل فنولوژیک ارقام گندم را دو منطقه شبیه‌سازی نموده است. اندرزیان و همکاران (۲۰۰۸) برای سه رقم گندم در شرایط اقلیمی اهواز با مدل CERES-Wheat به پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی پرداختند و به جذر میانگین مربعات خطا ۲/۵ روز برای تاریخ گرده‌افشانی و ۵ روز برای رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. هاندل و کاتور (۱۹۹۷) مدل CERES-Wheat را برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و عملکرد گندم طی سال‌های ۹۳-۱۹۸۵ در منطقه پنجاب هندوستان به کار بردند. در این تحقیق مراحل فنولوژیک با دقت خوبی شبیه‌سازی شدند، به طوری که اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای تاریخ گرده‌افشانی بین

+۶ تا -۹ و برای رسیدگی فیزیولوژیک بین +۳ تا -۶ روز بود. همچنین نامبردگان جذر میانگین مربعات خطا را برای روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۴ و ۳/۸ روز در گندم محاسبه کردند. در مطالعه‌ی دیگری که توسط وایت و همکاران (۲۰۰۲) صورت گرفت، اثرات نوسان درجه حرارت روی زمان گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی در مقیاس جهانی، با استفاده از مدل‌های CERES-Maize و CERES-Wheat برای گندم و ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی شده و مشاهده شده حاصل از هر دو مدل نشان داد که مراحل فنولوژیک فوق با دقت خوبی برآورد شده‌اند. بنایان و همکاران (۲۰۰۳) شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی گندم زمستانه آمریکا^۱ را با مدل CERES-Wheat انجام دادند و به جذر میانگین مربعات خطا ۷/۱ روز برای تاریخ گرده‌افشانی و ۱۰ روز برای رسیدگی برداشت دست یافتند.

پیش‌بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نمو گیاه اهمیت زیادی دارد چون تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حدود زیادی تحت تاثیر زمان وقوع مراحل فنولوژی می‌باشد. به همین ترتیب، ممکن است پیش‌بینی تغییرات سطح برگ و سایر فرآیندها به پیش‌بینی نمو فنولوژیک وابسته باشند. مدل‌سازی نمو فنولوژیک در مقایسه با سایر فرآیندها نسبتاً مشکل‌تر است زیرا تفاوت بین گونه‌ها و ارقام زیاد است، انواع واکنش‌های متفاوت وجود دارد و اطلاعات کمی زیادی نیز وجود ندارد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶b). همچنین با توجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه (آبیاری، مصرف کود و دیگر نهاده‌ها) برای دستیابی به حداکثر تولید دارند به نظر می‌رسد مدل DSSAT می‌تواند با پیش‌بینی مراحل فنولوژی در اقلیم‌های متفاوت به عنوان یک ابزار برای مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

1- Mercia



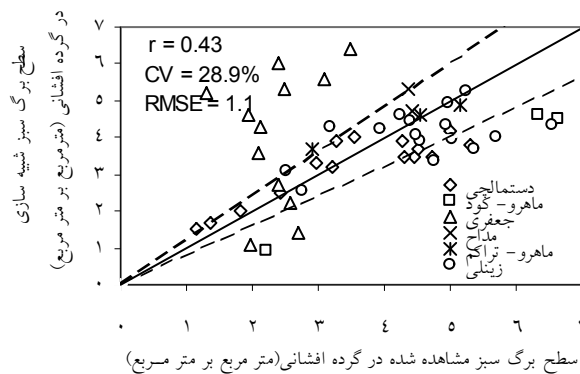
شکل ۳- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی. خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد نیز در شکل آورده شده‌اند.

شاخص سطح برگ: شکل (۴) شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در مرحله گرده‌افشانی با استفاده از مدل DSSAT را نشان می‌دهد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای سطح برگ در گرده‌افشانی ۱/۱ متر مربع بر زمین است که حدود ۲۹ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده در مرحله گرده‌افشانی است. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است پراکنش شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده از خط ۱:۱ به طرف بالا منحرف شده است. یک دلیل برای این انحراف این است که مقدار شاخص سطح برگ دقیقاً در تاریخ گرده‌افشانی از خروجی مدل به‌عنوان پیش‌بینی استخراج شده، حال آن‌که ممکن است در مزرعه سطح برگ دقیقاً در تاریخ گرده‌افشانی اندازه‌گیری نشده و با یک یا چند روز فاصله (زودتر یا دیرتر) اندازه‌گیری شده باشد. دلیل دیگر می‌تواند عدم دقت در اندازه‌گیری سطح برگ توسط محقق در آزمایشگاه باشد زیرا ممکن است برگ‌ها زرد و یا تاخورد شده باشد که این باعث عبور نور از حاشیه برگ‌ها می‌شود که این عوامل باعث خطا در اندازه‌گیری شاخص سطح برگ مشاهده شده می‌شود. مجموعه این دلایل و احتمالاً روش مورد استفاده در مدل برای شبیه‌سازی شاخص سطح برگ می‌تواند دلیل عدم دقت بسیار بالای مدل در پیش‌بینی شاخص سطح برگ در گرده‌افشانی باشد.

کیانی و همکاران (۲۰۰۴) شاخص سطح برگ را برای شش رقم گندم در دو منطقه بیرجند و مشهد در مراحل مختلف فنولوژیکی شبیه‌سازی نمودند. در آزمایش مشهد جذر میانگین مربعات خطا برابر 0.78 متر مربع بر متر مربع که ۲۷ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده بود. در حالی که در

آزمایش بیرجند جذر میانگین مربعات خطا ۲/۱ متر مربع بر متر مربع بود که ۴۸ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده بود. همچنین آرورا و همکاران (۲۰۰۷) به شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در طول فصل رشد گندم پرداختند و به جذر میانگین مربعات خطا ۰/۵ مترمربع بر متر مربع با ۳۵ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده و ضریب همبستگی ۰/۸۸ رسیدند.

قابلیت پیش‌بینی تغییرات سطح برگ نیز در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی دارای اهمیت است. پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای تخمین میزان تشعشع دریافت شده و تولید ماده خشک مورد نیاز است. همچنین پیش‌بینی آن در تعیین نسبت تبخیر به تبخیر تعرق دارای اهمیت است (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶a). پیش‌بینی ظهور برگ، قسمت مهم و حیاتی مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است زیرا ظهور برگ به زمان خاصی از دوره فنولوژیک مربوط نیست و همچنین در گسترش سطح برگ، انباشتگی وزن خشک و عملکرد دانه اهمیت دارد (خاوری، ۲۰۰۸). در مجموع از مقایسه شبیه‌سازی‌های انجام گرفته توسط مدل DSSAT در این مطالعه با نتایج مطالعات دیگر مشخص است که نتایج حاصل از این مطالعه برای شبیه‌سازی سطح برگ در مقایسه با دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه قابل قبول است اما تفاوت‌های بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیاز به بررسی دقیق‌تر در مطالعات بعدی دارد.



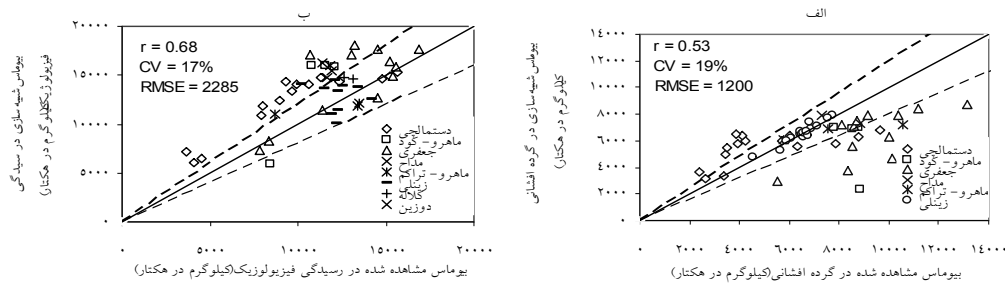
شکل ۴- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ در گرده‌افشانی. خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد نیز در شکل آورده شده‌اند.

بیوماس: شکل (۵) شبیه‌سازی بیوماس را در دو مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک برای چهار رقم گندم کوه‌دشت، شیرودی، تجن و زاگرس نشان می‌دهد. جذر میانگین مربعات خطا برای بیوماس در مرحله گرده‌افشانی و بیوماس کل در رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۱۲۰۰ و ۲۲۸۵ کیلوگرم در هکتار است که به ترتیب ۱۹ درصد میانگین بیوماس گرده‌افشانی و ۱۷ درصد بیوماس رسیدگی فیزیولوژیک مشاهده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است مقدار بیوماس شبیه‌سازی شده از مقدار بیوماس مشاهده شده بیشتر است زیرا یکی از دلایل این امر، عدم وجود شرایط کاملا مطلوب رشد در مزرعه می‌باشد در حالی که در مدل فرض می‌شود که از نظر این عوامل محدودیت وجود ندارد. دلیل دیگر برای این انحراف می‌تواند این باشد که مقدار بیوماس دقیقا در تاریخ گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک از خروجی مدل به عنوان پیش‌بینی استخراج شده حال آن که ممکن در مزرعه بیوماس دقیقا در تاریخ گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری نشده باشد و با یک یا چند روز فاصله (زودتر یا دیرتر) اندازه‌گیری شده باشد که این امر باعث اختلاف بین عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده می‌گردد. همچنین احتمال دارد این کاهش بیوماس مشاهده شده ناشی از بیوماس ریخته شده بر روی زمین در شرایط مزرعه باشد.

تیم‌سینا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که شبیه‌سازی رشد محصول با مدل CERES-Wheat تحت شرایط بدون تنش آب و نیتروژن در مناطق نیمه مرطوب هند، نپال، بنگلادش و استرالیا ضریب تغییرات در محدوده ۱۵ تا ۱۷ درصد برای بیوماس در مرحله رسیدگی دارد. بنایان و همکاران (۲۰۰۳) و جامیسون و همکاران (۱۹۹۸) بیوماس را با خطای زیادی شبیه‌سازی کردند. هاندل و کائور (۱۹۹۷) و هنگ و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از مدل CERES-Wheat بیوماس را در یک محدوده‌ای از آزمایشات در آسیا و استرالیا شبیه‌سازی کردند و به ضریب تغییرات ۱۶ درصد رسیدند. همچنین در تحقیق دیگری که توسط سینگ و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد، مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی بیوماس تحت تیمارهای مختلف کود و آبیاری مورد استفاده قرار گرفت، به طوری که جذر میانگین مربعات خطا بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بیوماس در مرحله رسیدگی، ۱۹۴۰ کیلوگرم در هکتار بود.

شبیه‌سازی تولید ماده خشک احتمالا بخش مرکزی هر مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی است که خود تحت تاثیر مدل‌سازی نمو فنولوژیک و تغییرات سطح برگ نیز قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی توزیع ماده

خشک نیز اهمیت دارد چون نتیجه توزیع ماده خشک، عملکرد دانه را مشخص می‌سازد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۵).

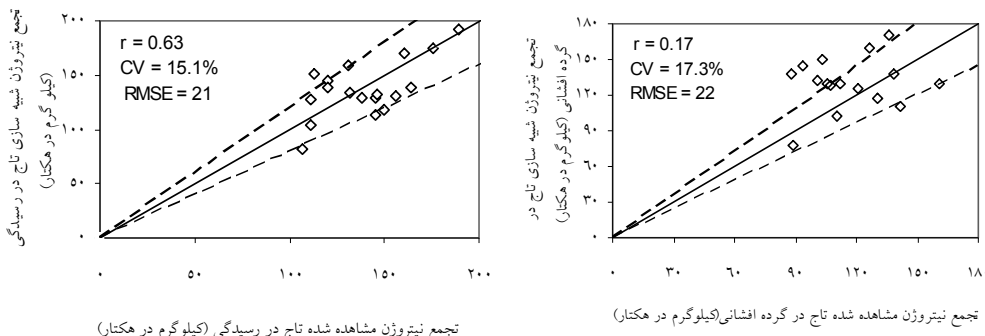


شکل ۵- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بیوماس در گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک. خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد نیز در شکل آورده شده‌اند.

تجمع نیتروژن: همان‌طور که در شکل ۶ (الف و ب) مشخص است تجمع نیتروژن تاج توسط مدل DSSAT در مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی (حداکثر تجمع نیتروژن) شبیه‌سازی شد و دقت شبیه‌سازی در دو مرحله فنولوژیکی قابل قبول است زیرا جذر میانگین مربعات خطا برای تجمع نیتروژن در تاج در مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی به ترتیب ۲۲ و ۲۱ کیلوگرم در هکتار است که به ترتیب ۱۷/۳ و ۱۵/۱ درصد تجمع نیتروژن اندازه‌گیری شده در مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی می‌باشند که پایین بودن این مقادیر بخصوص در مرحله رسیدگی موید دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی تجمع نیتروژن تاج توسط مدل DSSAT است.

آرورا و همکاران (۲۰۰۷) به شبیه‌سازی تجمع نیتروژن تاج در رسیدگی پرداختند و به جذر میانگین مربعات خطا ۱۳ کیلوگرم در هکتار با ۱۶ درصد میانگین تجمع نیتروژن مشاهده شده و ضریب همبستگی ۰/۹۴ رسیدند.

از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به طور گسترده جهت درک محدودیت نیتروژن روی تولید و عملکرد گیاهان زراعی برای ارزیابی تیمارهای نیتروژن برای بهبود عملکرد و استفاده بهینه از نیتروژن در سیستم‌های زراعی استفاده می‌شود بنابراین ضروری است بتوانند پیش‌بینی قابل قبولی از تغییرات و تجمع نیتروژن به دست دهند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶).



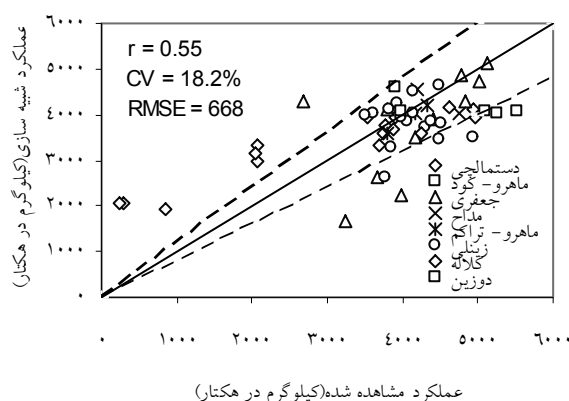
شکل ۶- مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده تجمع نیتروژن در تاج در گرده افشانی و رسیدگی. خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد نیز در شکل آورده شده اند.

عملکرد: نتایج حاصل از شبیه سازی عملکرد با استفاده از مدل DSSAT رضایت بخش بود. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی مدل (شکل ۷)، جذر میانگین مربعات خطا بین عملکرد شبیه سازی شده و مقدار مشاهده شده آن برابر ۶۶۸ کیلوگرم در هکتار بود که ۱۸/۲ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده است. ضریب همبستگی (r) بین عملکرد شبیه سازی شده و مقدار واقعی آن ۰/۵۵ بود. همان طور که در شکل (۷) نیز دیده می شود، بیشتر نقاط در محدوده $\pm 20\%$ درصد از خط رگرسیونی ۱:۱ قرار دارند. همچنین در شکل (۷) نیز مشخص است که در سطوح پایین تر عملکرد، نقاطی دیده می شوند که خارج از محدوده خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد از آن قرار دارند. در این نقاط مدل عملکرد را با اریب بیشتری پیش بینی می نماید، به طوری که مقدار شبیه سازی شده عملکرد بیشتر از مقدار مشاهده شده آن است که این به دلیل عدم دقت مدل DSSAT در شبیه سازی عملکرد در تاریخ های کشت آخر (اردیبهشت) آزمایشات مختلف است زیرا این نقاط مربوط به تاریخ های کاشت تاخیری است. این تاریخ ها کاملاً خارج از محدوده تاریخ کاشت مطلوب در منطقه بوده و تاریخ های کاشت غیرعادی و غیر معمولند. بنابراین بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده در این تاریخ ها اختلاف وجود دارد. در صورتی که بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده در سطوح بالای عملکرد که مربوط به تاریخ کاشت های مطلوب و معمول منطقه می باشند، اختلاف بسیار کمتر است.

تاکنون مدل DSSAT در تحقیقات بسیاری برای پیش بینی عملکرد مورد استفاده قرار گرفته است. جامیسون و همکاران (۱۹۹۸) از مقایسه ۵ مدل متفاوت گندم در استرالیا جذر میانگین مربعات

خطای ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار را با مدل CERES-Wheat برآورد کردند. همچنین هاندل و کائور (۱۹۹۷) پیشنهاد کردند که مدل CERES-Wheat می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد در دشت‌های مرکزی ایالت پنجاب هند استفاده شود ولی آن‌ها همچنین اظهار کردند که بررسی بیشتری روی روابط کمی حاکم بر تفکیک مواد فتوسنتزی به عملکرد در مدل صورت گیرد. از طرفی ارزیابی مدل CERES-Wheat برای پیش‌بینی عملکرد در محیط‌های کم‌رطوبت شمال‌غربی هند نشان داد که مدل توانایی پیش‌بینی قابل قبولی در مورد عملکرد دارد (هاندل و کائور، ۱۹۹۷). همچنین در مطالعه‌ی دیگری که در هند، بنگلادش و چین (هنگ و همکاران، ۲۰۰۰) صورت گرفت، پیش‌بینی قابل قبولی برای عملکرد انجام شد. سینو (۱۹۹۵) عملکرد را با جذر میانگین مربعات خطا ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار در چندین موقعیت ژاپن گزارش کرد. تیم‌سینا و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که شبیه‌سازی رشد محصول با مدل CERES-Wheat تحت شرایط بدون تنش آب و نیتروژن در مناطق نیمه مرطوب هند، نپال، بنگلادش و استرالیا ضریب تغییراتی در محدوده‌ی ۷ تا ۱۷ درصد برای عملکرد دارد. کیانی و همکاران (۲۰۰۴) عملکرد را برای شش رقم گندم در دو منطقه بیرجند و مشهد بوسیله مدل CERES-Wheat به ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا ۳۸۳/۵ و ۲۶۸/۲۹ کیلوگرم در هکتار شبیه‌سازی و گزارش نمودند که مدل با دقت بالایی (کمتر از ۱۰ درصد میانگین مشاهدات) عملکرد ارقام گندم را دو منطقه شبیه‌سازی نموده است. اندرزیان و همکاران (۲۰۰۸) برای سه رقم گندم در شرایط اقلیمی اهواز با مدل CERES-Wheat به پیش‌بینی عملکرد پرداختند و به جذر میانگین مربعات خطا ۴۶۵ کیلوگرم در هکتار برای عملکرد رسیدند. بنایان و همکاران (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در طی فصل رشد (مراحل ۳ تا ۵ برگی، ظهور برگ پرچم و شیری شدن دانه) در چهار منطقه انگلستان به کمک مدل CERES-Wheat، بیان داشتند که جذر میانگین مربعات خطا 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 گیاه را پیش‌بینی می‌نماید. غفاری و همکاران (۲۰۰۱) 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 و تفاوت بین عملکردهای شبیه‌سازی شده با واقعی ۰/۲۴ تن در هکتار (کمتر از ۱۰ درصد میانگین عملکردهای واقعی) بود. 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 ۸۹۸۵ تا ۹۸۸۴ کیلوگرم در هکتار طی سال‌های مختلف متغیر بود.



شکل ۷- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد، خط ۱:۱ و خطوط $\pm 20\%$ درصد نیز در شکل آورده شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مدل DSSAT برای پیش‌بینی فنولوژی، شاخص سطح برگ، محتوای نیتروژن گیاه، بیوماس تجمع‌ی بالای سطح خاک (مقدار بیوماس شبیه‌سازی شده از مقدار بیوماس مشاهده شده بیشتر است زیرا یکی از دلایل این امر، عدم وجود شرایط کاملاً مطلوب رشد در مزرعه می‌باشد در حالی که در مدل فرض می‌شود که از نظر این عوامل محدودیت وجود ندارد و این عامل باعث افزایش بیوماس شبیه‌سازی شده و پایین آمدن شاخص برداشت شبیه‌سازی می‌شود) و عملکرد دانه ۴ رقم گندم (کوهدشت، شیرودی، تجن و زاگرس) که از ارقام مورد استفاده در استان گلستان هستند، مورد استفاده قرار گرفت و در تمام موارد یاد شده نتایج قابل قبولی حاصل گردید و این موفقیت هنگامی محرز شد که مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، با داده‌های جمع‌آوری شده از آزمایشات مزرعه‌ای مورد مقایسه قرار گرفتند و برای اکثر پارامترها ضریب تغییرات کمتر از ۲۰ درصد بود. نتایج در این تحقیق نشان می‌دهد که مدل DSSAT می‌تواند یک ابزار امیدبخش برای پیش‌بینی عملکرد، سطح برگ، تجمع نیتروژن، فنولوژی و بیوماس ارقام مورد استفاده در استان گلستان باشد. به نظر می‌رسد که این مطالعه برای کشاورزان و تصمیمات سازندگان مدل مفید و مناسب باشد.

تحقیقات آینده باید به کاربرد این روش در مکان‌های مختلف استان متمرکز شود. همچنین تحقیقات آتی بایست بیشتر به ارزیابی کارایی مدل DSSAT در واکنش به دیگر تیمارهای مدیریتی از جمله آبیاری، کود نیتروژن، تناوب زراعی، سیستم‌های مختلف کاشت، وجود بقایا در سطح خاک، کاربرد مقادیر مختلف کودهای آلی و غیره در شرایط محیطی استان معطوف شوند. در این تحقیقات می‌توان از دیگر ارقام، بالانحص ارقام جدیدتری که آن‌ها نیز از ارقام مرسوم و پرمصرف استان هستند مانند رقم فلات، N8118، تارو، اترک و غیره استفاده نمود. بدیهی است که کار با ارقام جدید نیازمند صرف وقت و تلاش زیاد جهت برآورد پارامتر مدل برای ارقام مزبور است. علاوه بر نکات یادشده، جای تحقیق و بررسی‌های بیشتر بر روی سنجش کارایی مدل در شبیه‌سازی دیگر خروجی‌های آن مانند تبخیرتعرق گیاه، موازنه آب خاک، آبشویی نیترات، مقدار نیتروژن موجود در لایه‌های مختلف خاک، بقایای موجود در سطح خاک، رواناب، زهکشی آب خاک، تثبیت کودهای معدنی و ... وجود دارد.

منابع

- Ahmadi, M. 2008. Predicting phonological development in wheat (*Triticum aestivum* L.). Dissertation for M.Sc degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. Agric Sci. Nat Resou. 93p. (In Persian)
- Andarzian, B., Bakhshande, A.M., Bannayan, M., and Emam, Y. 2008. Evaluation of the CERES-wheat model in Ahvaz condition. Agron Res. J. Iran. 6: 11-22.
- Arabameri, R. 2008. Predicting kernel number and biomass retranslocation in wheat (*Triticum aestivum* L.). Dissertation for M.Sc degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. Agric Sci. Nat Resou. 90p. (In Persian)
- Arora, V.K., Singh, H., and Singh, B. 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. Agric water Manag. 94: 22-30.
- Bannayan, M., Crout, N.M.J., and Hoogenboom, G. 2003. Application of the CERES-Wheat model for within-season prediction of winter wheat yield in the United Kingdom. Agron J. 95: 114-125.
- Dastmalchi, A. 2010. Simulating wheat growth and development using CropSyst model under Gorgan conditions. Dissertation for M.Sc degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. Agric Sci. Nat Resou. 105p. (In Persian)
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. Agric. Sci. 105: 447-461.

- Ghaffari, A., Cook, H.F. and Lee, H.C. 2001. Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. *Eur. J. Agron.* 15:231-240.
- Heng, L.K., Baethgen, W.E., and Moutonnet, P. 2000. The collection of a minimum dataset and the application of CERES-WHEAT for optimizing wheat yield in irrigated cropping systems, pp. 7-17. In: *Optimizing nitrogen fertilizer application to irrigated wheat*, Iaea Tecdoc-1164, 2000, p. 245.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., and Tsuji, G.Y. 2004. DSSAT 4., Overview, vol. 1. ICASA, Uni. Hawaii, Honolulu, USA.
- Hundle, S.S., and Prabhjyot-Kaur. 1997. Application of the CERES-Wheat model to yield predictions in the irrigated plains of the Indian Punjab. *J. Agric. Sci.* 129:13-18.
- Jafari, M. 2008. Modeling of density effect on leaf appearance and senescence in wheat. Dissertation for M.Sc degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. *Agric Sci. Nat Resou.* 94 P. (In Persian)
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., Goudriaan, J., Ritchie, J.T., Van Keulen, H., and Stol, W. 1998. A comparison of the models AFRCWHAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUVROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crops Res.* 55: 23-44.
- 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., and Ritchie, J.T. 2003. The CERES-WHEAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18: 235-265.
- Khavari, F. 2008. Modeling leaf appearance and senescence in wheat cultivars. Dissertation for M.Sc degree in Agronomy. Azad Uni. Bojnurd. 93p. (In Persian)
- Kiani, A., Koochaki, A.R., Nasiri Mahalati, M., and Banayan, M. 2004. CERES-Wheat model evaluation at two different climatic in Khorasan Province, II Phenology and Growth parameter simulation. *J. Desert.* 9:125-142.
- Maddah-Yazdi, V. 2007. Comparative physiology of growth, development and yield formation in wheat and chickpea. Dissertation for M.Sc degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. *Agric Sci. Nat Resou.* 114p. (In Persian).
- Mahroo-Kashani, A.H. 2010. Simulating wheat growth and development using DSSAT model under Gorgan conditions. Dissertation for M.Sc. degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. *Agric Sci. Nat Resou.* 105p. (In Persian)
- Mirdavardoost, F. 2008. Quantifying of vernalization response in some Iranian wheat. Dissertation for M.Sc degree in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. *Agric Sci. Nat Resou.* 87p. (In Persian)
- Monteith, J.L. 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical transactions of the royal society London series B.* 281:277-294.

- Ritchie. J.T., Singh. U., Godwin, D.C., and Bowen, W.T. 1998. Cereal growth, development and yield. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G. Thornton. P.K.(Eds.). Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 79-98.
- Seino, H. 1995. Implications of climate change for crop production in Japan. In: Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impacts. ASA Special Publication Number 59. ASA, Madison, WI, pp. 293-306.
- Singh, A.K., Tripathy, R., and Chopra, U.K. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agric Water Manag.* 95: 776 – 786.
- Soltani, A., Meinke, H., and de Voil. P. 2004a. Assessing linear interpolation to generate daily radiation and temperature data for use in crop simulations. *Eur. J. Agron.* 21: 133-148.
- Soltani, A., Galeshi, S., Attarbashi, M.R., and Taheri, A.H. 2004b. Comparison of two methods for estimating parameters of harvest index increase during seed growth. *Field Crop Res.* 89:369-378.
- Soltani, A., Torabi, B., Zarei, H. 2005. Modeling crop yield using a modified harvest index-based approach: application in chickpea. *Field Crop Res.* 91:273-285.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006a. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Res.* 99: 14-23.
- Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006b. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Res.* 99: 1-13.
- Soltani, A., Robertson, M.J., and Manschadi, AM. 2006c. Modeling chickpea growth and development: Nitrogen accumulation and use. *Field Crop Res.* 99: 24-34.
- Soltani, A. 2007. Application of SAS in Statistical Analysis. JDM Press, Mashhad, Iran. 182p.
- Soltani, A., Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crop Res.* 103: 198-207.
- Timsina, J., Humphreys, E., Godwin, D., and Matthews, S. 2005. Evaluation of options for increasing water productivity of irrigated wheat using CSM-Wheat V4. In: MODSIM05 Conf, Melbourne, Australia.
- White, J.W., Grace, P.N.F., Rodriguez, A., and Corbett, J. 2002. "Modeling temperature-driven variation in wheat and maize production at a global scale", ICASA, 15 Apr. 2002.

Zeinali, E. 2009. Wheat Nitrogen in Gorgan; Agronomical physiological, and enviromental aspects. A thesis submitted for the Degree of Ph.D in Agron. Dep. Agron, Gorgan Univ. Agric Sci. Nat Resou. 201p. (In Persian)



Estimates of genetic coefficients and evaluation of model DSSAT for Golestan province

*** A.H. Mahru¹, A. Soltani², S. Galeshi², and M. Kalate-Arabi³**

¹M.Sc student Dept. of Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran, ²Faculty members of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran, ³Faculty members of Agricultural Research center of Golestan Province

Abstract

Using crop simulation models is an efficient complement to experimental research. Crop models can also be helpful with respect to decision-making in sustainable farming system. This study was done to estimate genetic coefficients and evaluate performed DSSAT in prediction of development, growth and yield in wheat. Data from various field experiments for four wheat cultivars Koohdasht, Shiroudi, Tajan and Zagros were used. After estimation of genetic parameters, the model ability were evaluated in simulation of phenological development in days to anthesis, days to maturity, dry matter production at anthesis and physiological maturity, leaf area index at anthesis, accumulation of nitrogen at anthesis and maturity and grain yield. Root Mean Square Error (RMSE) for grain yield was equal to 668 kg.ha⁻¹ which was 18.2 percent of the mean yield. Model predictions were appropriate for other crop development and growth characteristics. Therefore, the model can be used for simulation these cultivars.

Keywords: Wheat; Simulation; DSSAT Model; Growth and Development; Yield

*- Corresponding Author; Email: amirmahru@yahoo.com