نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۳ ، پاییز ۱۳۹۱، ص. ۵۲۱-۵۱۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 3, Fall 2012, p. 511-521

ارزیابی مدل CropSyst–گندم برای پیش‌بینی نمو، رشد و عملکرد در واکنش به تاریخ کاشت

علی دستمالچی[1*]- افشین سلطانی[2]- ناصر لطیفی[3] - ابراهیم زینلی[4]

تاریخ دریافت:۱۳۸۹/۴/۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۱۷

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، ابزار مفیدی در تعیین بهینه‌ترین راهبرد مدیریت زراعی و پایداری تولید در بوم نظام‌های کشاورزی به شمار می‌آیند. هدف از این تحقیق ارزیابی توانایی مدل CropSyst–گندم برای شبیه‌سازی نمو، رشد و عملکرد ارقام مورد استفاده در استان گلستان در واکنش به تاریخ کاشت بود. نتایج حاصل از ارزیابی مدل قابل قبول بود، بطوریکه روند مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، در واکنش به تاریخ کاشت بسیار مشابه بود، از طرفی اختلافات بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده روز تا مراحل مختلف فنولوژیک در تمامی تاریخ‌های کاشت غیر معنی‌دار بود. همان‌طورکه داده‌های آزمایشی نشان می‌دهند، با تاخیر در کاشت از عملکرد دانه کاسته شد که چنین واکنشی در عملکرد شبیه‌سازی شده نیز مشاهده می‌شود. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای عملکرد دانه در تمام تاریخ‌های کاشت و برای ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس به ترتیب ۲۹۵، ۳۴۵ و ۲۷۴ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب ۸/۷، ۱۰/۶ و ۸/۹ درصد میانگین بود. نتیجه اینکه، علی‌رغم اختلافات مطلق بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، مدل CropSyst–گندم می‌تواند واکنش نمو، رشد و عملکرد ارقام مورد استفاده در استان به تاریخ کاشت را در حد نسبتا قابل قبولی شبیه‌سازی کند.

واژه های کلیدی: تاریخ کاشت، گیاهان زراعی، مراحل فنولوژیک، گرده افشانی، رسیدگی فیزیولوژیک

مقدمه

مدل‌سازی گیاهان زراعی یکی از شاخه‌های زراعت و فیزیولوژی گیاهان زراعی است که از حدود ۴۰ سال قبل به وجود آمده و توسعه رایانه‌های پر قدرت و کارآمد در پیشرفت این رشته سهم عمده‌ای داشته‌است (۶). استفاده کارآمد از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی یک مکمل موثر برای تحقیقات آزمایشی است (۱۰). اجرای تحقیقات مزرعه‌ای به صرف وقت و هزینه نیاز دارد در حالیکه مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌توانند با انجام شبیه‌سازی آزمایش‌های وسیع باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه شوند (۸)، اما باید توجه داشت که مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به هیچ وجه نمی‌توانند جایگزین آزمایشات مزرعه‌ای شوند، بلکه بهترین حالت آن است که به عنوان مکمل این آزمایش‌ها استفاده شوند. در این صورت خواهند توانست به طور جزئی نیاز به آزمایشات مزرعه‌ای را کاهش دهند و اثر بخشی نتایج این آزمایش‌ها را بیشتر کنند (۵).

از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای کاشت، تعیین بهترین مدیریت زراعی، برآورد ظرفیت تولید منطقه‌ای، تعیین خط‌مشی برای به‌نژادی، تعیین اولویت‌های تحقیقاتی، انتقال تکنولوژی، طبقه‌بندی آگرواکولوژیک و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم استفاده شده‌است (۷).

مدل CropSyst[5] یکی از این مدل‌هاست که رشد و نمو گیاه را به صورت روز به روز و مرحله به مرحله تا رسیدگی شبیه‌سازی می‌کند. این مدل می‌تواند واکنش گیاه زراعی را به خاک، شرایط آب و هوایی و مدیریت‌های مختلف زراعی توصیف و شبیه‌سازی کند. ورودی‌های مدل CropSyst برای انجام شبیه‌سازی شامل اطلاعات روزانه آب و هوا (شامل حداکثر و حداقل درجه حرارت، بارندگی و تشعشع خورشیدی)، خصوصیات خاک (شامل خصوصیات فیزیکی و

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، استاد، استاد و استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: alidastmalchi2007@yahoo.com)

5- Cropping Systems Simulation Model

شیمیایی هر لایه)، خصوصیات رقم (شامل پارامترهای نمو، رشد و عملکرد و بیوماس) و مدیریت زراعی اعمال شده (شامل کاربرد آبیاری و کود، سیستم کشت و ...) می‌باشد (۲).

استوکل و همکاران مدل CropSyst را برای گندم بهاره و زمستانه در واکنش به تیمارهای مختلف آب و کود نیتروژن کالیبره نمودند. سپس مدل مذکور برای پیش‌بینی بیوماس و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج رضایتبخشی از آن حاصل شد (۱۱). در آزمایش دیگری با رژیم‌های مختلف کود نیتروژن و آبیاری مدل CropSyst برای گندم مورد استفاده قرار گرفت. کالیبراسیون مدل مذکور با استفاده از بالاترین سطوح تیمارها انجام گرفت. سپس مدل مذکور برای بقیه ترکیبات تیماری جهت شبیه‌سازی عملکرد، بیوماس و سطح برگ مورد ارزیابی قرار گرفت، به طوریکه به عنوان نمونه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[1]) بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده عملکرد دانه برابر ۰/۳۶ تن در هکتار بود و همین مقدار برای بیوماس کل برابر ۱/۲۷ تن در هکتار محاسبه گردید (۹). اما تا به حال هیچ تحقیقی با استفاده از این مدل به هدف ارزیابی آن در واکنش به تاریخ کاشت انجام نشده است.

نمو گیاه در مدل CropSyst بر اساس زمان حرارتی می‌باشد. زمان حرارتی مورد نیاز برای هر کدام از مراحل فنولوژیک بایست مشخص شود. زمان حرارتی از مرحله کاشت شروع به افزایش می‌نماید. گیاه زمانی مرحله بعدی نمو را آغاز می‌کند که نیاز مرحله قبلی نمو به زمان حرارتی تامین شده باشد. بر اساس نوع گیاه مراحل مهم و اساسی فنولوژی شامل سبز شدن، شروع گلدهی، زمان حداکثر شدن شاخص سطح برگ، پایان گلدهی، شروع پر شدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد (۱۱). در CropSyst افزایش سطح برگ در خلال دوره رشد رویشی به صورت متر مربع سطح برگ به ازای هر متر مربع از خاک تعریف می‌شود و به صورت تابعی از بیوماس تجمعی محاسبه می‌گردد:

$$GLA_{today} = (LAERB_{today} \times SLA) / (LeafStemPart \times LAERB_{cum} + ۱)^{۲}$$ معادله (۱)

که در آن، $LAERB_{today}$ بیوماس مربوط به گسترش سطح برگ روزانه بر حسب کیلوگرم بر مترمربع، $LAERB_{cum}$ بیوماس تجمع یافته در همان روز بر حسب کیلوگرم بر مترمربع، SLA سطح ویژه برگ بر حسب مترمربع بر کیلوگرم و LeafStemPart ضریب تخصیص برگ به ساقه بر حسب مترمربع بر کیلوگرم می باشد. ضریب تخصیص برگ به ساقه نشان می‌دهد که از بیوماس تولیدی در هر روز چقدر باید به تولید برگ سبز و چقدر بایست به تولید ساقه اختصاص یابد. بنابراین، مقدار LAI تولید شده در هر روز از شبیه‌سازی، نماینده‌ای از بیوماس تولیدی در آن روز خواهد بود (۱۱).

در CropSyst پتانسیل تولید بیوماس روزانه به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$Bpt = (Kbt \times Tp) / VPD$$ معادله (۲)

که در آن، Bpt: پتانسیل تولید بیوماس گیاه است که به تعرق وابسته است. TP: تعرق پتانسیل گیاه زراعی است، VPD: میانگین کمبود فشار بخار آب اتمسفری در طول روز و Kbt: ضریب تعرق بیوماس می‌باشد (۱۱).

در CropSyst شبیه‌سازی عملکرد بستگی به بیوماس تجمعی کل در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و شاخص برداشت دارد:

$$Y = B_{pm} \times HI$$ معادله (۳)

که در آن،Y: عملکرد بر حسب کیلوگرم در متر مربع است. B_{pm}: بیوماس در رسیدگی فیزیولوژیک و بر حسب کیلوگرم در متر مربع و HI: شاخص برداشت می باشد (۱۱).

هدف از این تحقیق ارزیابی مدل CropSyst– گندم برای پیش‌بینی نمو، رشد و عملکرد تعدادی از ارقام مورد استفاده در استان گلستان در واکنش به تاریخ کاشت بود.

مواد و روش‌ها

مدل CropSyst که قبلا در آزمایشی جداگانه پارامترهایش برآورد و ارزیابی شده بود (۵)، برای شبیه‌سازی واکنش به تاریخ کاشت مورد استفاده قرار گرفت. این کار با هدف تخمین دقت مدل در شبیه سازی تاریخ کاشت انجام شد. برای نیل به این هدف از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ استفاده گردید. جدول ۴ برآورد پارامترهای مدل مذکور را نشان می‌دهد (۲).

تیمارهای این آزمایش شامل ۳ رقم گندم کوهدشت، تجن و زاگرس بوده که در ۵ تاریخ کاشت ۸۶/۱۰/۸، ۸۶/۱۱/۱۰، ۸۶/۱۲/۸، ۸۷/۱/۸ و ۸۷/۲/۱۲ (که به ترتیب و به اختصار ۹۸، ۱۳۰، ۱۵۸، ۱۸۷ و۲۲۲ روز پس از اول مهر) کشت شدند. دامنه تاریخ کاشت‌های انتخاب شده در این آزمایش وسیع بود.

مشخصات و محل اجرای آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید. شهرستان گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، در ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه ۵۲۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴ درجه سانتیگراد بود. قبل از اجرای آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱)، که بر اساس نتایج حاصله بافت خاک لوم رسی سیلتی تعیین شد.

1- Root Means Square Error

جدول ۱ مشخصات خاک محل آزمایش (عمق ۳۰ – ۰ سانتی‌متر)

مشخصه	مقدار
درصد اشباع	۵۱/۵
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۸
اسیدیته گل اشباع	۷/۶
درصد مواد خنثی شونده	۲/۶
کربن آلی (درصد)	۱/۰۴
ازت کل (درصد)	۰/۱
فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۰/۱
پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	۲۲۰
رس (درصد)	۳۶
سیلت (درصد)	۴۶
شن (درصد)	۱۸

طرح آزمایش و عملیات زراعی

طرح آزمایش بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. مقدار بذر بر اساس تراکم مطلوب ۳۵۰ بوته در مترمربع محاسبه و کاشت درخطوطی با فاصله ۱۶ سانتی‌متر انجام شد. متوسط فاصله بذرها در هر خط کاشت ۲ سانتی‌متر بود و فاصله بین ارقام در هر کرت ۱۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

زمین مورد آزمایش در سال قبل زیر کشت گندم بود و در آذر ماه با انجام شخم برگردانده شد. پس از انجام عملیات شخم با گاو آهن برگرداندار زمین در دو نوبت به صورت عمود بر هم دیسک زده شد و سپس با گونیا نقشه طرح پیاده و کرت‌بندی شد. میزان کود توصیه شده بر اساس آزمایش خاک ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۱۶۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار بود که هر دو آن‌ها قبل از کاشت به زمین داده شد. مقدار ۱۲۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار نیز در سه نوبت (کاشت، پنجه زنی و گرده‌افشانی) و در هر نوبت بر مبنای۴۰ کیلوگرم در هکتار به زمین آزمایشی داده شد.

در هر تاریخ کاشت بذور پس از ضدعفونی با سم قارچ‌کش کربوکسی تیرام به نسبت ۲ در هزار، در فاصله مناسب و در عمق ۴-۳ سانتی‌متری به صورت دستی کشت شدند.

اطلاعات آب و هوا و خاک

اطلاعات روزانه ماکزیمم و مینیمم دمای هوا، بارندگی و تشعشع خورشیدی از اداره کل هواشناسی استان گلستان، ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد بدست آمد. آمار و اطلاعات آب و هوایی به صورت میانگین ماهانه، در طول دوره آزمایشات مزرعه‌ای، در جدول ۲ آمده است. بافت خاک مزرعه تحقیقاتی از نوع لوم رسی سیلتی بود (بر اساس اطلاعات حاصل از جدول ۱). مشخصات خاک شامل بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و خصوصیات شیمیایی خاک است. برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک پروفیلی به عمق ۱۵۰ سانتی‌متر در مزرعه تحقیقاتی حفر گردید. این پروفیل به ۶ لایه تفکیک شد. عمق لایه ها از بالا به پایین پروفیل ۱۵-۱۵-۳۰-۳۰-۳۰-۳۰ بود. سپس خصوصیات مورد نظر به تفکیک هر لایه اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

برای آزمون نتایج مدل نیز از شاخص‌های ارزیابی، ضریب تبیین[1] (R^2)، ضریب تغییرات[2] (CV) و جذر میانگین مربعات خطا[3] (RMSE) استفاده شد (۴).

نتایج و بحث

فنولوژی

نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان می‌دهد که ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده روز تا گرده‌افشانی ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۷ و ۰/۹۹ بود. مقدار RMSE بین روز تا گرده‌افشانی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای ارقام فوق به ترتیب ۴/۸، ۵/۹ و ۳/۳ روز بود که به ترتیب ۶/۶، ۷/۷ و ۴/۳ درصد میانگین روز تا گرده‌افشانی مشاهده شده است (شکل۱).

ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۹ و ۰/۹۸ بود. مقدار جذر میانگین مربعات خطا بین روز تا رسیدگی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای ارقام مذکور به ترتیب ۴/۶، ۴/۴ و ۴/۷ روز بود که به ترتیب ۴/۴، ۳/۹ و ۴/۳ درصد میانگین روز تا رسیدگی مشاهده شده است (شکل۱).

بنابراین، همانطور که از مطالب بالا و شکل ۱ دریافت می‌شود، مدل CropSyst در پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی گندم در واکنش به تاریخ کاشت موفق عمل نموده‌است، به طوری که روندی که داده‌های شبیه‌سازی شده در واکنش به تاریخ کاشت دنبال می‌کنند تا حد زیادی شبیه به مقادیر مشاهده شده می‌باشد. با تاخیر در کاشت، تعداد روز لازم برای وقوع هر یک از مراحل فنولوژیک کاهش می‌یابد. این کاهش هم در داده‌های مشاهده شده و هم در داده‌های شبیه‌سازی شده دیده می‌شود (شکل۱)، زیرا طول دوره مراحل مختلف نموی در تاریخ کاشت‌های دیرتر با افزایش میانگین، حداقل و حداکثر دما و همچنین افزایش طول روز کاهش می‌یابد و از آنجا که گندم گیاهی روز بلند است، تاخیر در کاشت که موجب افزایش طول روز می‌گردد، باعث تسریع وقوع گلدهی، تسریع در ورود به فاز زایشی و زودرسی می‌شود (۱).

1 -Coefficient of determination
2 -Coefficient of Variation
3 -Root Mean Square Error

جدول ۲- میانگین دمای حداکثر، دمای حداقل، تشعشع و مجموع بارندگی در دوره رشد مربوط به گیاه گندم در مقایسه با آمار بلند مدت در شرایط آب و هوایی گرگان

	حداکثر دما (°C)		حداقل دما (°C)		بارندگی (mm)		تشعشع (MJ/m^2)	
ماه	دوره آزمایش	بلند مدت	دوره آزمایش	بلند مدت	دوره آزمایش	بلند مدت	دوره آزمایش	بلند مدت
آذر	۱۴/۹	۱۶	۵/۸	۶/۳	۷۱/۹	۵۲/۳	۷/۱	۲۳/۲
دی	۸	۱۲/۹	-۲/۳	۳/۸	۱۶/۵	۵۶/۹	۹/۳	۹/۴
بهمن	۱۰/۷	۱۲/۴	۰/۴	۳/۴	۵۵/۸	۵۷/۶	۱۰/۴	۱۱/۲
اسفند	۱۸/۵	۱۴/۵	۶/۱	۲/۵	۳۸/۱	۷۳/۳	۱۴/۳	۱۴/۱
فروردین	۲۳/۵	۱۹/۳	۱۱/۳	۹/۰	۸	۶۰/۳	۱۴	۱۷/۴
اردیبهشت	۲۶/۶	۲۴/۹	۱۳/۹	۱۳/۸	۲۴/۸	۴۷/۲	۱۹	۲۰/۱
خرداد	۲۹/۹	۲۹/۶	۱۸/۵	۱۸/۴	۱۴/۵	۳۵/۷	۲۱	۲۱/۶

جدول ۳- مشخصات خاک مزرعه تحقیقاتی به تفکیک لایه‌های مختلف

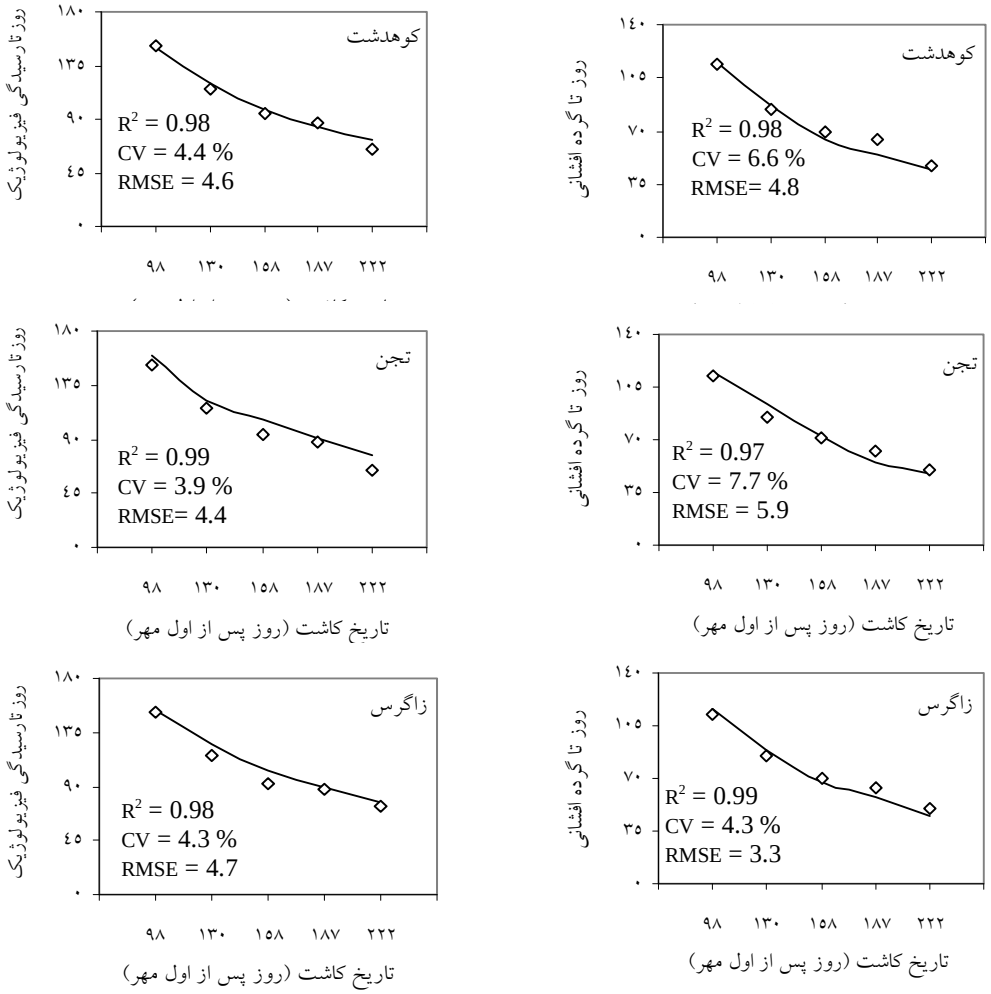
عمق لایه (سانتیمتر)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر مترمکعب)	رطوبت در ظرفیت زراعی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)	اسیدیته	شوری (میلی زیمنس بر سانتی‌متر)	درصد مواد آلی	نیترات (پی.پی.ام)
۱۵	۳۶/۵۹	۵۴/۲۷	۹/۱۴	۱/۲۵۹	۰/۳۴	۷/۸۹	۶۸۵	۱/۹۴	۱۱
۱۵	۳۶/۵۹	۵۴/۲۷	۹/۱۴	۱/۲۵۹	۰/۳۶	۷/۸۹	۶۸۵	۱/۶۳	۸
۳۰	۳۷/۴۲	۵۰/۱۹	۱۲/۳۹	۱/۲۶۲	۰/۳۸	۷/۹۷	۷۱۲	۰/۹۴	۶
۳۰	۴۲/۷۳	۴۲/۱۱	۱۵/۱۶	۱/۲۴۸	۰/۳۰	۸/۰۵	۷۹۵	۰/۴۶	۵
۳۰	۴۹/۲۱	۴۱/۶۷	۹/۱۲	۱/۲۱۶	۰/۳۴	۷/۹۷	۹۹۴	۰/۳۴	۴
۳۰	۴۲/۲۷	۴۱/۶۶	۱۶/۰۷	۱/۲۵۱	۰/۳۴	۷/۸۹	۱۴۱۰	۰/۲۷	۴

جدول ٤- برآورد پارامترهای گیاهی مدل CropSyst برای ٤ رقم گندم استان گلستان (۲)

پارامتر / رقم	کوهدشت	شیرودی	تجن	زاگرس
ضریب تخصیص ساقه به برگ	۲/۵	۳	۳	۲/۵
ضریب تعرق (کیلوپاسکال در کیلوگرم بر مترمربع)	۵	۵	۵	۵
دوام برگ (درجه روز رشد)	۸۷۸	۷۸۰	۷۷۰	۸۷۷
کارایی استفاده از تشعشع (گرم بر مگاژول)	۳	۳	۲/۸	۳
شاخص برداشت	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۳۷
ضریب خاموشی	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
سطح ویژه برگ (متر مربع بر کیلوگرم)	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸
درجه روز تا سبز شدن	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۳۰
درجه روز تا حداکثر شاخص سطح برگ	۹۱۰	۹۲۰	۹۲۰	۹۰۰
درجه روز تا گلدهی	۹۱۰	۹۲۰	۹۲۰	۹۰۰
درجه روز تا شروع پر شدن دانه	۹۸۰	۱۰۰۰	۱۰۱۵	۱۰۰۰
درجه روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	۱۷۰۰	۱۷۹۰	۱۸۱۷	۱۸۰۰

بنابراین، تعداد روز تا گرده‌افشانی و به طبع آن، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر از آنجایی که گندم گیاهی روز بلند می‌باشد، مواجه شدن این گیاه با طول روز بلند (شرایط حاکم در کشت‌های تاخیری) باعث توقف رشد رویشی شده و گیاه وارد فاز زایشی می‌گردد که این عامل باعث زودرسی در کشت‌های تاخیری می‌شود (۲). البته تمام ارقام مورد مطالعه در این حساسیتی به طول روز ندارند و نمو آنها عمدتا از طریق درجه حرارت کنترل می شود (۱). لذا کاهش مدت نمو این ارقام در شرایط کشتهای تاخیری به دلیل افزایش میانگین، حداقل و حداکثر دما می باشد، یعنی با افزایش زمان حرارتی روزانه[1] و در نتیجه زمان حرارتی کل فاصله زمانی طی شدن مراحل مختلف فنولوژیک نیز کاهش می یابد.

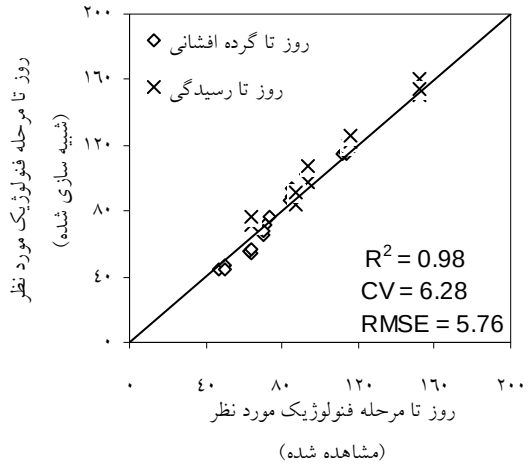
در کشت‌های تاخیری، دمای بالا علاوه بر اینکه از طریق تامین نیاز حرارتی گیاه (درجه روز رشد) باعث تسریع وقوع مراحل نموی می‌شود، از طریق افزایش میزان تبخیر و تعرق نیز باعث بروز تنش رطوبتی و در نتیجه سبب کاهش مراحل نموی می‌گردد. دمای بالا بعد از بهار رخ می‌دهد و احتمالا آنچه که باعث تسریع در ورود به مرحله زایشی می شود، همان طول روز است. در حقیقت می‌توان چنین بیان داشت که روز تا گرده‌افشانی بیشتر تحت تاثیر طول روز است، زیرا تا ورود به مرحله زایشی در زمستان دما تغییر چندانی ندارد، اما روز تا رسیدگی بیشتر تحت تاثیر دما می‌باشد. به طور خلاصه، دما بر مراحل فنولوژیکی بعد از ورود به مرحله زایشی تاثیر می‌گذارد (۲).



شکل۱- روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک مشاهده شده (○) و شبیه‌سازی شده (——) ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس کندم

1 -Daily thermal time

در واکنش به تاریخ کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶



شکل ۲- نمودار ۱:۱ مقادیر مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه سازی شده روز تا گرده افشانی و روز تا رسیدگی ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس گندم در واکنش به تمام تاریخ های کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶

ماده خشک کل (زیست توده[1])

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی مدل، ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ماده خشک در گرده‌افشانی (شکل۳) برای ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۷۹ و ۰/۹۱ بود. همچنین، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ماده خشک در گرده‌افشانی برای ارقام مذکور به ترتیب ۴۵۸، ۱۰۳۰ و ۵۵۱ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب ۱۱/۳، ۲۲/۴ و ۱۳/۹ درصد میانگین مشاهده شده می‌باشد.

ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده کل ماده خشک تجمعی در رسیدگی برای ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۹۰ و ۰/۹۰ بود. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ماده خشک در رسیدگی برای ارقام مذکور به ترتیب ۶۳۱، ۷۹۴ و ۷۹۸ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب ۶/۹، ۹/۵ و ۹/۳ درصد میانگین مشاهده شده می‌باشد (شکل۳).

مطابق شکل ۳ تاخیر در کاشت تولید ماده خشک را کاهش داد. این روند برای مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ماده خشک (در مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک) در واکنش به تاریخ کاشت مشابه بود. اگرچه برای بعضی از تیمارهای تاریخ کاشت، اختلافات بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده معنی‌دار می‌باشند، اما صرف نظر از اختلافات مطلق، روندی که مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ماده خشک در واکنش به تاریخ کاشت دنبال می‌نمایند مشابه بود.

در شرایط کشت های تاخیری زوال برگ‌ها نیز سریع‌تر اتفاق می‌افتد، زیرا در کشت‌های تاخیری دما بالاست و از آنجا که دما عامل مهم محدود کننده گسترش سطح برگ می‌باشد، در نهایت باعث کاهش سطح برگ سبز و کاهش فتوسنتز در گیاه گشته که بر تولید و تجمع ماده خشک اثر منفی می‌گذرد (۵). از آن گذشته همان طور که در بخش فنولوژی نیز ذکر شد با تاخیر در کاشت طول روز هم افزایش می‌یابد که این مورد همراه با افزایش دماهای روزانه در کشت‌های تاخیری، باعث زودرسی و در نهایت کاهش تولید ماده خشک در این تاریخ‌های کاشت می‌شود.

با توجه به شکل ۳ بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ماده خشک در زمان گرده‌افشانی و رسیدگی در اولین تاریخ کاشت (۹۸ روز پس از اول مهر) اختلافات زیاد است. البته چون در تمام ارقام مقدار مشاهده شده بیوماس در مرحله گرده افشانی و رسیدگی بیشتر از مقدار شبیه سازی شده آن است، این احتمال قوت می گیرد که دلیل این اختلافات پیش از آنکه متوجه خطا در کارکرد مدل و برآورد پارامترهای آن باشد، بیشتر به جمع آوری داده های آزمایش مزرعه‌ای بر می گردد. اما به هر جهت بررسی های بیشتر در آینده را می‌طلبد.

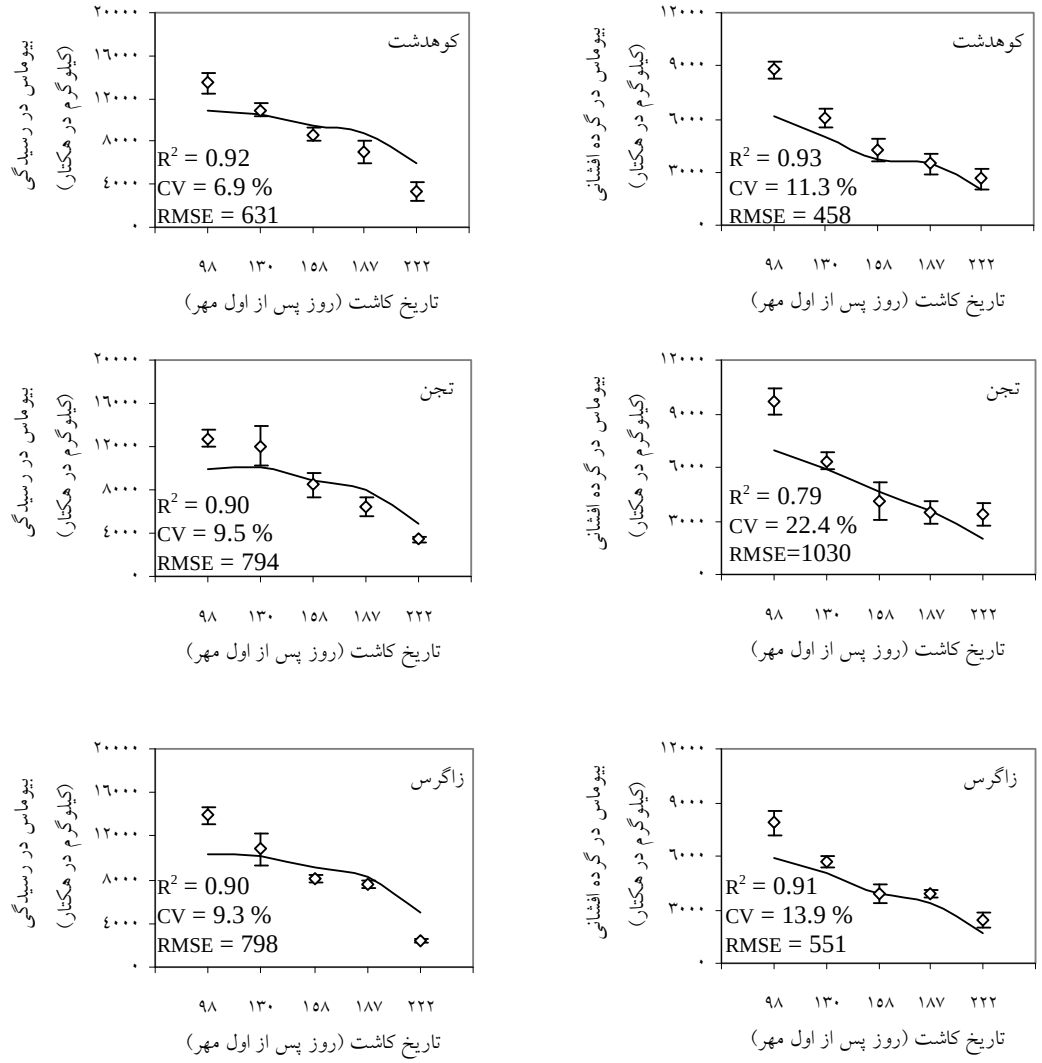
سطح برگ

نتایج حاصل از ارزیابی مدل CropSyst برای پیش‌بینی شاخص سطح برگ در واکنش به تاریخ کاشت قابل قبول بود (شکل ۵). ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده سطح برگ در

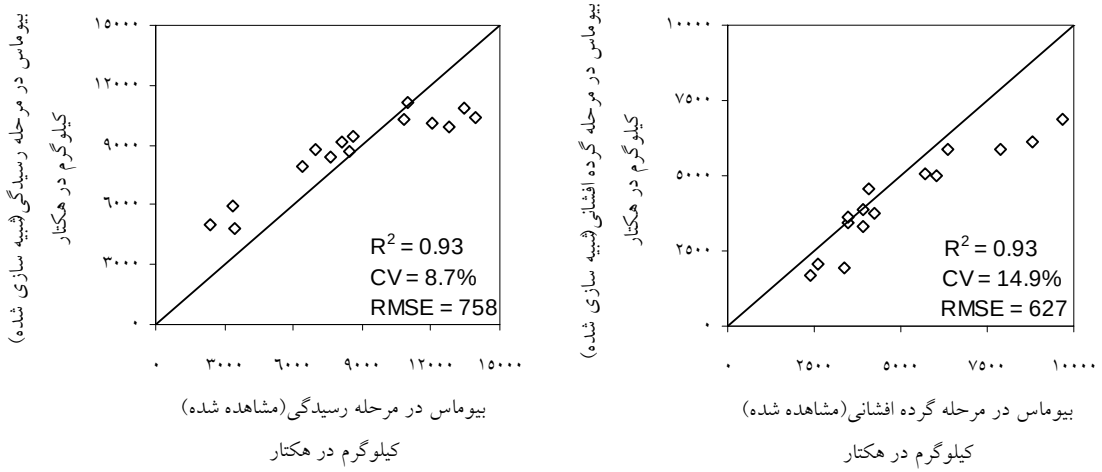
1- Biomass

گرده‌افشانی برای ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس در واکنش به تاریخ‌های مختلف کاشت به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۹۲ و ۰/۹۷ بود. همچنین، مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین سطح برگ در گرده‌افشانی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای ارقام فوق و در تمامی تاریخ‌های کاشت به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۴۱ و ۰/۳ مترمربع بر مترمربع بود که ۷/۶، ۱۱/۱ و ۷/۲ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده می‌باشد (شکل۵).

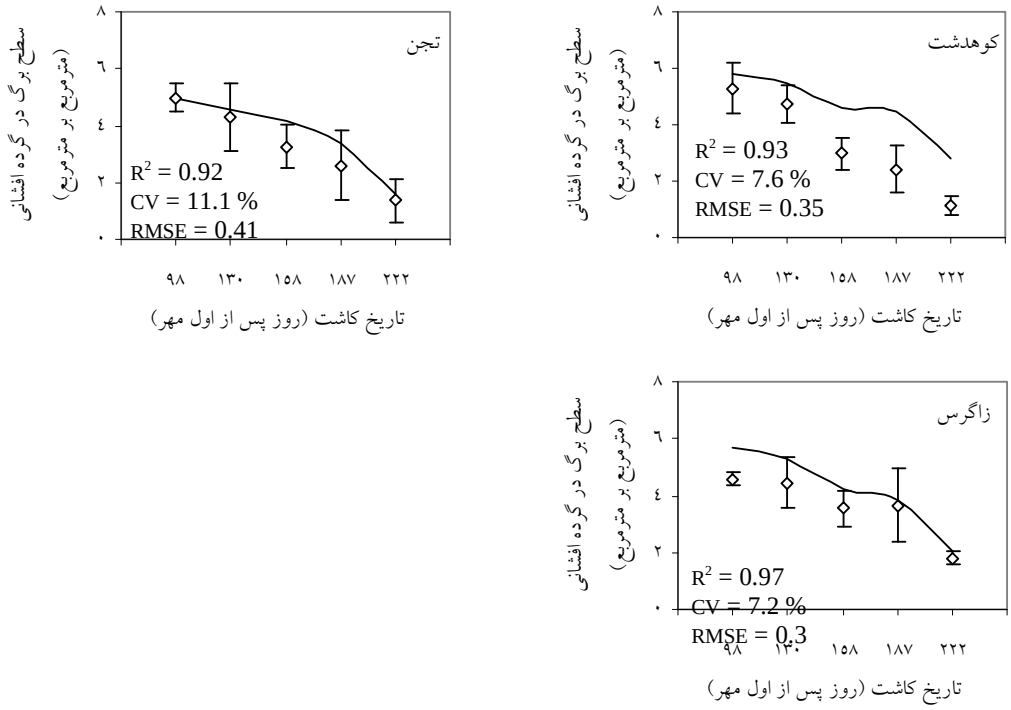
مطابق شکل ۵ تاخیر در کاشت شاخص سطح برگ در گرده‌افشانی را کاهش داد. صرف نظر از اختلافات مطلق بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ، روند کاهشی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده این متغییر در واکنش به تاریخ کاشت مشابه بود، زیرا هم در مقادیر مشاهده شده و هم در مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی شاخص سطح برگ، تاخیر در کاشت باعث کاهش سطح برگ گردید. البته توجیه علمی و فیزیولوژیکی کاهش سطح برگ در نتیجه تاخیر در کاشت در بخش قبل (ماده خشک) بیان شده است.



شکل۳- ماده خشک تولیدی در مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی مشاهده شده (◇) و شبیه‌سازی شده (——) ارقام مختلف گندم در واکنش به تاریخ کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶. خطوط عمودی خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌های مشاهده‌شده را نشان می‌دهد.

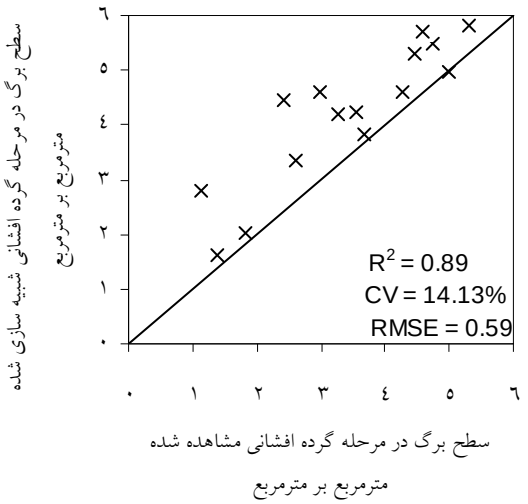


شکل ٤- نمودار ۱:۱ مقادیر مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه سازی شده ماده خشک در مراحل گرده افشانی و رسیدگی ارقام مختلف گندم در واکنش به تمام تاریخ های کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸٦



شکل٥- شاخص سطح برگ در گرده‌افشانی مشاهده شده (◇) و شبیه‌سازی شده (——) ارقام مختلف گندم در واکنش به تاریخ کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸٦. خطوط عمودی خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌های مشاهده شده را نشان

می‌دهد.



شکل٦- نمودار ۱:۱ مقادیر مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه سازی شده شاخص سطح برگ در مرحله گرده افشانی ارقام مختلف گندم در واکنش به تمام تاریخ های کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸٦

عملکرد

نتایج حاصل از ارزیابی مدل CropSyst برای پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس در واکنش به تاریخ‌های مختلف کاشت در شکل ۷ نشان داده شده است. ضریب تبیین (R^2) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه برای ارقام کوهدشت، تجن و زاگرس در واکنش به تاریخ کاشت به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۷ و ۰/۹۳ بود. همچنین، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده عملکرد این سه رقم در تمام تاریخ‌های کاشت به ترتیب ۲۹۵، ۳۴۵ و ۲۷۴ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب ۸/۷، ۱۰/۶ و ۸/۹ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده می‌باشد (شکل۷).

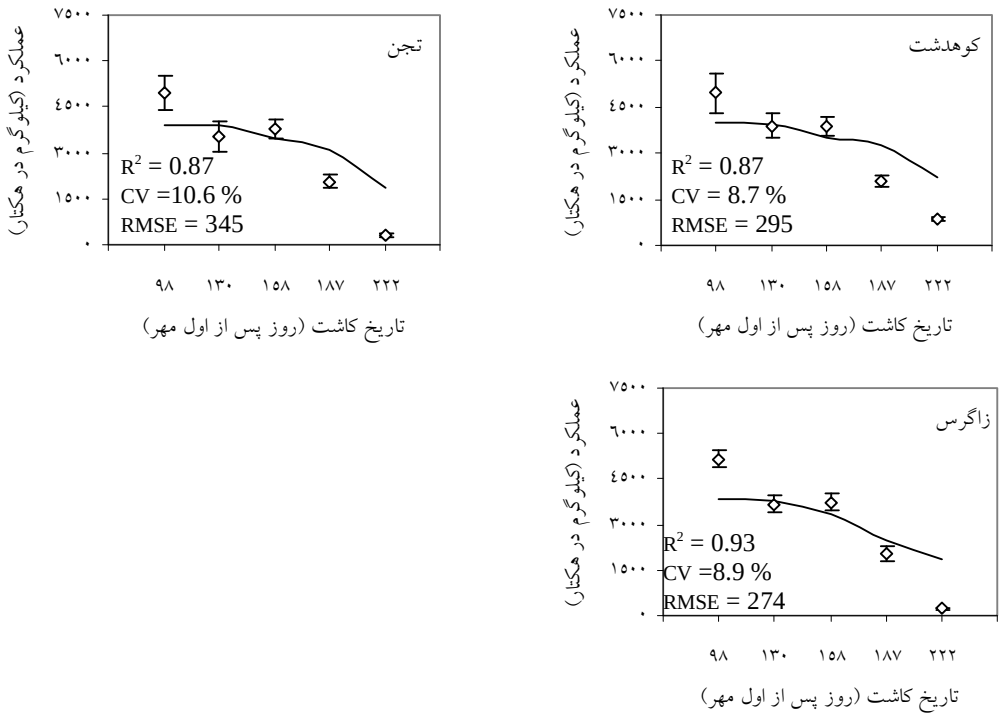
با تاخیر در کاشت، عملکرد دانه کاهش یافت. بطور کلی و صرف نظر از اختلافات مطلق عددی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد ارقام مختلف در واکنش به تاریخ کاشت، روندی که مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد در واکنش به تاریخ کاشت دنبال می‌کنند در اکثر تاریخ‌های کاشت مشابه می‌باشد. یعنی با تاخیر در کاشت از عملکرد دانه ارقام کاسته می‌شود، اما همانطورکه در شکل ۷ نیز مشاهده می‌شود، مدل در شبیه‌سازی عملکرد تاریخ کاشت‌های چهارم و پنجم بخصوص تاریخ کاشت پنجم ضعیف بوده و پیش‌بینی‌های آن با مقادیر مشاهده شده اختلاف زیادی دارد. در این تاریخ‌های کاشت مدل عملکرد را با اریب بیشتری پیش‌بینی می‌نماید. زیرا این تاریخ‌ها کاملا خارج از محدوده تاریخ کاشت مطلوب در منطقه بوده و تاریخ کاشت‌های غیرعادی و غیر معمولند. در صورتی که بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در سطوح بالای عملکرد که مربوط به تاریخ کاشت‌های مطلوب و معمول منطقه می‌باشند، اختلافات کمتر است. در مورد تاریخ کاشت اول همانطور که در بخش بیوماس نیز بیان شد، دلیل اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده بیشتر به داده های آزمایش مزرعه ای بر می گردد تا خطا در کارکرد مدل.

محدودیت فصل رشد و مواجه شدن مراحل بحرانی فنولوژیک گیاه با دمای بالا باعث می شود، تعداد دانه و متوسط وزن دانه، هر دو تحت تأثیر قرار گیرند (۱). در مجموع نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تاخیر در کاشت به واسطه کاهش اجزای تعیین کننده دانه و به ویژه به واسطه تأثیر بر تعداد سنبلچه بارور در سنبله می تواند در کاهش عملکرد موثر باشد (۱).

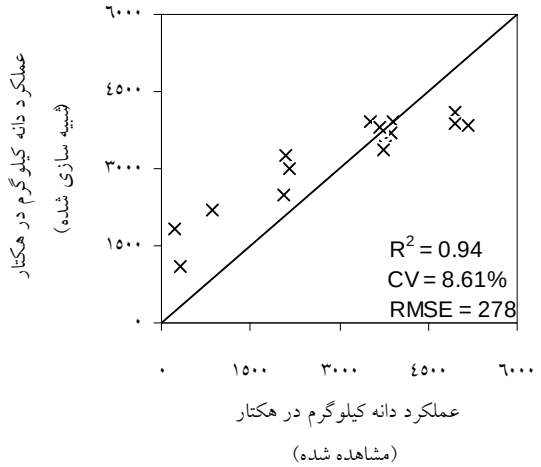
نتیجه‌گیری

مدل CropSyst برای شبیه‌سازی فنولوژی، شاخص سطح برگ، تولید ماده خشک و عملکرد دانه ارقام مورد استفاده در استان گلستان در واکنش به تاریخ‌های مختلف کاشت مورد استفاده قرار گرفت و در بعضی موارد یادشده نتایج قابل قبولی حاصل گردید.

صرف نظر از اختلاف مطلق بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، روندی که مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در واکنش به تاریخ کاشت دنبال می‌کنند، در بعضی از تاریخ های کاشت و برخی ارقام مشابه بود.



شکل۷- عملکرد مشاهده شده (◇) و شبیه‌سازی شده (——) ارقام مختلف گندم در واکنش به تاریخ کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸٦.خطوط عمودی خطای استاندارد محاسبه شده برای داده‌های مشاهده شده را نشان می‌دهد.



شکل۸- نمودار ۱:۱ مقادیر مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه سازی شده عملکرد دانه ارقام مختلف گندم در واکنش به تمام تاریخ های کاشت و بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸٦

اختلافات بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی متغییرهای ذکر شده در بالا در واکنش به تاریخ کاشت‌های ۱، ۲ و ۳ (به ترتیب ۹۸، ۱۳۰ و ۱۵۸ روز پس از اول مهر) در اکثر موارد غیر معنی‌دار بود اما برای تاریخ کاشت‌های ۴ و۵ (به ترتیب ۱۸۷ و ۲۲۲ روز پس از اول مهر) معمولا اختلافات بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بیشتر بوده به طوریکه در اکثر موارد این اختلافات معنی‌دار بودند.

در این مطالعه بعضا دیده می‌شود که بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده اختلافات زیادتر از حد معمول است که لزوم بررسی‌های بیشتر توسط محققین و مدل‌سازان در آینده را خاطر نشان می‌سازد.

منابع

۱- احمدی، م. ۱۳۸۶. پیش‌بینی نمو فنولوژیک گیاه گندم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زراعت دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۹۳ ص.

۲- دستمالچی، ع. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی رشد و نمو گندم با مدل CropSyst در شرایط محیطی استان گلستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زراعت دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۰۰ ص.

۳- رسام، ق.ع.، و سلطانی، ا. ۱۳۸۶. بهینه‌سازی مدیریت تولید نخود در شرایط دیم با استفاده از مدل شبیه‌سازی Cyrus. دومین همایش ملی بوم-شناختی ایران. ص ۵۷-۳۹.

۴- سلطانی، ا. ۱۳۸۶. کاربرد نرم‌افزار SAS و تجزیه‌های آماری (ویرایش دوم). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۸۲ ص.

۵- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. جلد ۱. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۷۵ ص.

۶- سلطانی، ا.، ا. زینلی، و س. گالشی، ۱۳۷۸ الف. یک مدل رایانه‌ای برای شبیه‌سازی فتوسنتز و تعرق کانوپی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۷(۱):۴۴-۳۵.

۷- سلطانی، ا.، ک.، قاسمی گلعذانی، ف.، رحیمزاد خوئی، م. مقدم، و م. میرنیا. ۱۳۷۸ ب. CICER: یک مدل رایانه‌ای برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد نخود. مجله دانش کشاورزی. ۹(۳):۱۰۶-۸۹.

8- Pannkuk, C. D., C.O., Stockle, and R.I. Papendick. 1998. Evaluating CropSyst Simulations of Wheat Management in a Wheat-Fallow Region of the US Pacific Northwest. Agricultural Systems. 57: 121-134.

9- Singh, A.K., R., Tripathy, and U.K. Chopra. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. Agricultural Water Management. 95: 776-786.

10- Soltani, A., and G. Hoogenboom. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research. 103: 198-207.

11- Stockle, C.O., M., Donatelli, and R.L. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. European Journal of Agronomy. 18: 289-307.

12- Stockle, C.O., S., Martin, and G.S. Campbell. 1994. CropSyst, a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. Agricultural Systems. 46: 335-359.