



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد نوزدهم، شماره اول، ۱۳۹۱

<http://jopp.gau.ac.ir>

مدل‌سازی نمو فنولوژیک در پنبه

*فرشید قادری^۱، افشین سلطانی^۲ و علی‌اصغر میری^۳

^۱استادیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲استاد گروه زراعت دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳موسسه تحقیقات پنبه کشور

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۲

چکیده

در مدل‌های شبیه‌سازی پیش‌بینی زمان وقوع مراحل نمو فنولوژیک بسیار مهم می‌باشد. این پژوهش به منظور کمی‌سازی مراحل نمو فنولوژیک پنبه و ساخت یک مدل فنولوژی ساده انجام شد. برای یافتن پارامترهای مدل، از نتایج یک آزمایش مزرعه‌ای در سال ۱۳۸۵ با ۶ تاریخ کاشت (دوم اردیبهشت، پانزدهم اردیبهشت، سوم خرداد، بیست و سوم خرداد، هجدهم تیر و شانزدهم مرداد) در شرایط گرگان استفاده شد. نتایج نشان داد که هیچ یک از مراحل نمو فنولوژیک پنبه (بر اساس واکنش مراحل نمو به درجه روز رشد) به فتوپریود حساس نیستند و دما تنها عامل مؤثر بر وقوع مراحل فنولوژی پنبه می‌باشد. از این رو یک مدل مبتنی بر دما برای پیش‌بینی مراحل نمو فنولوژیک پنبه ساخته شد. از آنجا که گام‌های زمانی دما روزانه، سه ساعته و ساعتی اختلاف چندانی در پیش‌بینی مدل نداشتند، از این رو می‌توان در پیش‌بینی نمو فنولوژیک پنبه از میانگین دما روزانه استفاده کرد. برای ارزیابی مدل ساخته‌شده از داده‌های مستقل به دست آمده در طی سال‌های مختلف در طیف گسترده‌ای از تاریخ کاشت‌ها در دو ایستگاه هاشم‌آباد و کارکنده گرگان استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که جذر میانگین مربعات خطا برای روز تا سبز شدن، روز تا غنچه‌دهی، روز تا گل‌دهی و روز تا باز شدن قوزه به ترتیب ۱/۸، ۷/۳، ۵/۵ و ۷/۸ روز بود که بیانگر پیش‌بینی خوب مراحل نمو فنولوژیک

*مسئول مکاتبه: akranghaderi@yahoo.com

پنبه توسط مدل است و می‌توان از آن در مدل‌های شبیه‌سازی پنبه برای پیش‌بینی مراحل مختلف فنولوژیک در شرایط عدم تنش استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پنبه؛ مدل‌های شبیه‌سازی، فنولوژی، دما؛ طول روز

مقدمه

مدل‌های شبیه‌سازی برای درک واکنش گیاهان زراعی به پویایی سیستم آب- خاک- گیاه- اقلیم استفاده می‌شوند (سلطانی، ۲۰۰۹). همچنین از این مدل‌ها در پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی و پیش‌بینی مراحل رشد و نمو گیاه، ارزیابی صفات فیزیولوژیک برای بهبود عملکرد و کمک به تصمیم‌گیری برای به حداکثر رساندن استفاده از منابع قابل دسترس استفاده می‌شوند (آساره و همکاران، ۱۹۹۲؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶- الف؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۴).

در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی پیش‌بینی دقیق مراحل نمو فنولوژیک گیاه از اهمیت بالایی برخوردار هستند، زیرا در این مدل‌ها تولید و تخصیص ماده خشک به‌طور عمده از طریق مراحل فنولوژیک تنظیم می‌شوند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶- الف) و علاوه بر آن پیش‌بینی دقیق رشد گیاه نیازمند پیش‌بینی دقیق نمو فنولوژیک دارد (پایپر و همکاران، ۱۹۹۶).

مراحل نمو فنولوژیک در گیاهان زراعی تحت‌تاثیر دما، فتوپریود و بهاره‌سازی قرار می‌گیرند (گونزالس و همکاران، ۲۰۰۲؛ استرک و همکاران، ۲۰۰۳). در گیاهان زراعی گرمادوست مانند گندم و کلزا مراحل نمو گیاه تحت‌تاثیر هر سه عامل قرار می‌گیرند (هیکوت، ۱۹۹۷؛ کربی و همکاران، ۱۹۹۹؛ وانگ و آنگل، ۱۹۹۸) و در گیاهان گرمادوست مراحل نمو به‌طور عمده تحت‌تاثیر دما و فتوپریود می‌باشند. اما در گیاهان گرمادوست غیرحساس به طول روز، مراحل نمو به‌طور عمده به وسیله دما کنترل می‌شوند.

دما یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر سرعت نمو، رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (ردی، ۱۹۹۴). سرعت نمو گیاه زراعی با افزایش دما بین دما پایه تا دما مطلوب نمو افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر دما بین دما مطلوب و دما سقف، کاهش می‌یابد (قادری‌فر و همکاران، ۲۰۰۹؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶- ب).

برخی از محققان برای پیش‌بینی مراحل نمو گیاه از مدل‌های فنولوژیک مبتنی بر دما استفاده کرده‌اند (تان و همکاران، ۲۰۰۰). در این مدل‌ها فرض بر آن است که نمو گیاه تحت تاثیر دما می‌باشد (ین و همکاران، ۱۹۹۶). اگرچه در برخی محیط‌ها و در برخی از گیاهان این مقدار ثابت نیست و مدل فنولوژی مبتنی بر دما مراحل نمو گیاه را به خوبی پیش‌بینی نمی‌کند. به عبارت دیگر این مدل‌ها برای ژنوتیپ‌های غیرحساس به طول روز، برای یک تاریخ کاشت در یک موقعیت معین یا دامنه‌ای از تاریخ‌های کاشت در عرض‌های جغرافیایی پایین مناسب‌اند (ین و همکاران، ۱۹۹۶ به نقل از گروه تحقیقات اکولوژی فتوترمال برنج، RPERG). برای مثال مطالعه‌ای که در هشت منطقه چین با استفاده از ۱۰ رقم برنج انجام شد، درجه روز رشد از سبز شدن تا گل‌دهی متغیر و فاقد ثبات بود (ین و همکاران، ۱۹۹۶ به نقل از گروه تحقیقات اکولوژی فتوترمال برنج، RPERG). این تنوع در درجه روز رشد از اثر فتوپریود بر نمو ناشی می‌شود (لومیس و کانر، ۱۹۹۲) و در گیاهان حساس به طول روز عامل فتوپریود نیز باید در پیش‌بینی فنولوژی لحاظ گردد.

به‌منظور کمی‌سازی اثرات دما و فتوپریود بر نمو فنولوژیک مطالعات متعددی در گیاهان مختلف صورت گرفته است (سینکلر و همکاران، ۱۹۹۱؛ ویر و همکاران، ۱۹۸۴؛ متیوس و هانت، ۱۹۹۴؛ گرم و همکاران، ۱۹۹۴؛ ویندار و همکاران، ۲۰۰۶؛ کومار و همکاران، ۲۰۰۹). سلطانی و همکاران (۲۰۰۶-الف)، همچنین گوا و همکاران (۱۹۹۲) و میجور و همکاران (۱۹۷۵) به‌ترتیب در نخود، برنج و سویا از توابع دمایی و فتوپریودی خاصی برای پیش‌بینی نمو فنولوژیک استفاده کردند. برای مثال، سلطانی و همکاران (۲۰۰۶-الف) در مدل فنولوژیک خود برای واکنش به دما از یک تابع دندان مانند و برای واکنش فتوپریود از یک تابع درجه دوم استفاده کردند. همچنین نامبردگان بیان داشتند که گیاه نخود از سبز شدن تا گل‌دهی به فتوپریود حساس است، ولی از گل‌دهی تا مرحله غلاف‌دهی به فتوپریود حساس نیست. از این‌رو در این شرایط برای پیش‌بینی نمو گیاه باید عامل فتوپریود را در مراحل حساس همراه با دما در نظر گرفت.

مفهوم درجه روز رشد به‌طور گسترده برای کمی‌سازی نمو فنولوژیک در مدل‌های گیاهان زراعی استفاده می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۹). در اکثر مطالعات برای محاسبه درجه روز رشد از میانگین دما روزانه استفاده می‌شود، اما برخی از محققان بیان داشته‌اند که استفاده از میانگین دما روزانه در مدل‌سازی نمو فنولوژیک مناسب و کافی نیست زیرا در طی شبانه‌روز دما دارای تغییرات قابل توجهی است (ین و همکاران، ۱۹۹۶؛ سلطانی، ۲۰۰۹). به‌همین دلیل در برخی از مدل‌های گیاهان

زراعی برای محاسبه درجه روز رشد از دما ساعت به ساعت به‌جای میانگین دما روزانه استفاده می‌شود (سیندر و همکاران، ۱۹۹۹؛ سزاراچو و همکاران، ۲۰۰۱).

پنبه یکی از مهم‌ترین گیاهان لیفی در جهان و ایران می‌باشد که برای پیش‌بینی رشد و نمو این گیاه مدل‌های مختلفی از قبیل GOSSYM، OZCOT و COTCROP ارائه شده است (هرن، ۱۹۹۴؛ بیکر و همکاران، ۱۹۸۳؛ برون و همکاران، ۱۹۸۵). در تمامی این مدل‌ها، پیش‌بینی مراحل نمو فنولوژیک پنبه از اهمیت بالایی برخوردار است و چگونگی واکنش مراحل نموی مختلف این گیاه به عوامل محیطی و کمی سازی این عوامل مهم می‌باشد. از این‌رو مطالعه حاضر با اهداف (۱) بررسی واکنش مراحل نموی پنبه به دما و فتوپریود در مراحل مختلف رشد، (۲) تهیه یک مدل فنولوژی برای پنبه، (۳) ارزیابی مدل ساخته شده با استفاده از داده‌های مستقل و (۴) مقایسه درجه روز رشد با استفاده از گام‌های زمانی برای پیش‌بینی مراحل فنولوژی پنبه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای برای پارامتریابی مدل فنولوژی: آزمایش مزرعه‌ای برای به‌دست آوردن پارامترهای مدل فنولوژی پنبه در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم‌آباد در سال ۱۳۸۵ انجام شد. این ایستگاه در ۱۱ کیلومتری غرب گرگان، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا واقع شده است و بافت خاک مزرعه از نوع سیلت کلی لوم^۱ می‌باشد. این مطالعه به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. در این مطالعه از رقم سپید استفاده شد. این رقم دارای برگ‌های با بریدگی‌های عمیق (برگ اکرا) می‌باشد و در موسسه تحقیقات پنبه کشور اصلاح و تکثیر شده است. برای برآوردهای مدل فنولوژی، گیاه پنبه در دامنه گسترده‌ای از تاریخ کاشت‌ها کشت گردید تا مراحل نموی پنبه با شرایط مختلفی از لحاظ دما و فتوپریود مواجه گردد. کاشت در ۶ تاریخ (شامل دوم اردیبهشت، پانزدهم اردیبهشت، سوم خرداد، بیست و سوم خرداد، هجدهم تیر و شانزدهم مرداد) انجام شد. در طول آزمایش علف‌های هرز و جین دستی شدند و آفات شته، کرم فوزه و عسلک نیز با آفت کش‌های توصیه شده کنترل شدند. آبیاری در مواقع لزوم در طول فصل رشد به صورت بارانی انجام شد و بر اساس توصیه کودی، ۱۳۰ کیلوگرم در

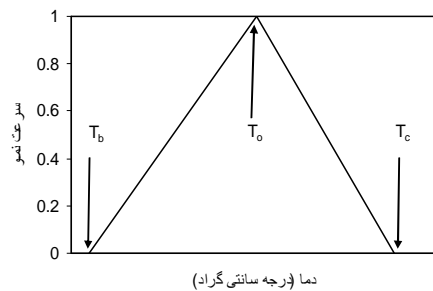
1- Silty Clay Loam

فرشید قادری فر و همکاران

هکتار نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 استفاده شد. در هر تاریخ کاشت مراحل فنولوژی پنبه شامل سبز شدن، غنچه‌دهی، گل‌دهی و باز شدن قوزه یادداشت برداری شد (جدول ۱).

جدول ۱- تعریف مراحل مختلف فنولوژی پنبه.

مرحله نمو	تعریف
سبز شدن	زمانی که ۵۰ درصد بذرهای کاشته شده سبز شده باشند.
غنچه‌دهی	زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها دارای غنچه‌ای به قطر ۰/۵ تا ۱/۵ سانتی‌متر باشند.
گل‌دهی	زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها دارای یک گل باشند.
باز شدن قوزه	زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها دارای یک قوزه باز باشند.



شکل ۱- شمایی از تابع دو تکه‌ای برای توصیف واکنش سرعت نمو به دما در پنبه. T_b ، T_o و T_c به ترتیب دما پایه، مطلوب و سقف می‌باشند.

پس از محاسبه روز تا هر یک از مراحل فنولوژی، از معادلات زیر برای محاسبه درجه روز رشد برای هر مرحله و در هر تاریخ کاشت استفاده شد:

$$TMP = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (1)$$

$$f(T) = \begin{cases} \frac{(TMP - T_b)}{(T_o - T_b)} & \text{اگر } T_b < TMP \leq T_o \\ \left[1 - \left(\frac{TMP - T_o}{T_c - T_o} \right) \right] & \text{اگر } T_o \leq TMP < T_c \\ = 0 & \text{اگر } TMP \leq T_b \text{ or } TMP \geq T_c \end{cases} \quad (2)$$

$$DTT=(T_o - T_b) \times f(T) \quad (۳)$$

$$TT_i= TT_{i-1}+ DTT_i \quad (۴)$$

که در این معادلات TMP میانگین دما روزانه، T_{max} حداکثر دما روزانه، T_{min} حداقل دما روزانه، $f(T)$ تابع دمایی دو تکه‌ای، T_b دما پایه، T_o دما مطلوب، T_c دما سقف، DTT درجه روز رشد روزانه، TT درجه روز رشد تجمعی، i روز مورد نظر برای محاسبه روز i ام و $i-1$ روز قبل از آن هستند. لازم به ذکر است که انتخاب تابع دو تکه‌ای (شکل ۱) و دماهای کاردینال بر اساس منابع موجود انجام شد (ردی، ۱۹۹۴؛ اکرم قادری و همکاران، ۲۰۰۸) و در این مطالعه دما پایه، مطلوب و سقف برای پنبه به ترتیب ۱۲، ۳۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (ردی، ۱۹۹۴؛ اکرم قادری و همکاران، ۲۰۰۸). برای محاسبه درجه روز رشد برای سبز شدن تا غنچه‌دهی، غنچه‌دهی تا گل‌دهی، گل‌دهی تا باز شدن قوزه برای هر یک از تاریخ کاشت‌ها از برنامه `gdd_calc` استفاده شد (سلطانی و مداح، ۲۰۱۰). پارامترهای لازم برای اجرا این برنامه به ترتیب شامل حداقل و حداکثر دما روزانه، دما پایه، دما مطلوب، دما سقف، سال آزمایش و روز کاشت می‌باشد. آمار دما حداکثر و حداقل روزانه از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان واقع در نزدیکی مزرعه آزمایشی تهیه شد. با کمک این برنامه مقدار درجه روز رشد برای هر مرحله نمو محاسبه شد. برای بررسی اثرات فتوپریود بر مراحل نمو پنبه، مقدار درجه روز رشد با سه گام زمانی روزانه، سه ساعته و ساعتی برای هر مرحله نمو و برای هر تاریخ کاشت به‌طور جداگانه محاسبه گردید و در مقابل تاریخ کاشت قرار داده شد. برای این‌که حساسیت هر مرحله نسبت به فتوپریود بررسی گردد، درجه روز رشد هر مرحله در مقابل تاریخ کاشت (به صورت روز از اول سال) رسم شد. با این روش چنانچه مرحله‌ای حساس به فتوپریود باشد، می‌بایستی درجه روز رشد آن با تغییر تاریخ کاشت تغییر کند و چنانچه مرحله حساس نباشد درجه روز رشد به تاریخ کاشت واکنش نشان نمی‌دهد.

ارزیابی مدل فنولوژی با داده‌های مزرعه‌ای مستقل: مدل فنولوژی پنبه با استفاده از پارامترهای به‌دست آمده در آزمایش اول ساخته شد. برای ارزیابی مدل ساخته شده از مطالعات مزرعه‌ای انجام شده در سال‌های مختلف و در دامنه‌ای از تاریخ‌های کاشت در دو ایستگاه هاشم‌آباد و کارکنده گرگان استفاده شد (جدول ۲). در این آزمایش‌ها، تاریخ سبز شدن، غنچه‌دهی، گل‌دهی و باز شدن قوزه یادداشت برداری شد. سپس برای پیش‌بینی روز تا مراحل مختلف نمو پنبه برنامه‌ای (مدلی) در محیط Excel نوشته شد. ورودی‌های این مدل شامل دمای پایه، دمای مطلوب، دمای سقف،

فرشید قادری فر و همکاران

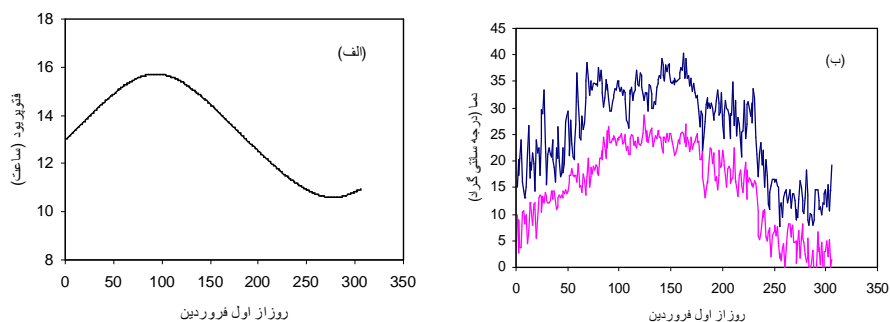
درجه‌روزرشد تا سبز شدن، درجه روز رشد تا غنچه‌دهی، درجه روز رشد تا گل‌دهی و درجه روز رشد تا باز شدن قوزه می‌باشد که این پارامترها از آزمایش اول حاصل شد. در این مدل با توجه به اطلاعات داده شده، درجه روز رشد با کمک آمار هواشناسی به صورت روزانه و تجمعی محاسبه و با رسیدن به درجه روز رشد برای هر مرحله نمودی، تعداد روز تا آن مرحله در خروجی برنامه ثبت می‌شود. سپس روز تا مراحل نمو فنولوژیک پیش‌بینی شده توسط مدل در مقابل مراحل نمودی اندازه‌گیری شده قرار گرفت. برای ارزیابی مدل از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تغییرات، ضریب همبستگی و خط ۱:۱ استفاده شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد (سلطانی، ۲۰۰۷).

جدول ۲- داده‌های به‌دست آمده برای ارزیابی مدل فنولوژی پنبه.

مکان	سال	تاریخ کاشت	تیمار	منبع
هاشم‌آباد	۱۳۸۴	۳۱ فروردین، ۱۵ اردیبهشت، ۳۱ اردیبهشت، ۱۵ خرداد، ۳۱ خرداد	تاریخ کاشت	میری، ۲۰۰۶
هاشم‌آباد	۱۳۸۳	۱۰ اردیبهشت	آبیاری قطره‌ای	سهرابی مشک‌آبادی، ۲۰۰۹
هاشم‌آباد	۱۳۸۳	۹ اردیبهشت	هورمون پیکس و نیتروژن	قرنجیک، ۲۰۰۹
هاشم‌آباد	۱۳۸۳	۱۷ خرداد	سیستم‌های خاک‌ورزی	اکرم قادری، ۲۰۰۷
هاشم‌آباد	۱۳۸۳	۹ اردیبهشت	لایسی متری	سهرابی مشک‌آبادی، ۲۰۰۶
هاشم‌آباد	۱۳۸۳	۹ اردیبهشت	روش های آبیاری	قربانی نصرآباد، ۲۰۰۶
هاشم‌آباد	۱۳۸۲	۲۲ اردیبهشت	مزرعه تکثیر بذر	قادری فر، منتشر نشده
هاشم‌آباد	۱۳۸۲	۷ خرداد	لایسی متری	سهرابی مشک‌آبادی، ۲۰۰۶
هاشم‌آباد	۱۳۸۲	۲۷ اردیبهشت، ۱۵ خرداد، ۲۹ خرداد	تاریخ کاشت و تراکم	فجری، ۲۰۰۵
هاشم‌آباد	۱۳۸۱	۱۴ اردیبهشت	مزرعه تکثیر بذر	قادری فر، منتشر نشده
هاشم‌آباد	۱۳۸۱	۱۹ اردیبهشت	مزرعه تکثیر بذر	قادری فر، منتشر نشده
هاشم‌آباد	۱۳۷۹	۴ اردیبهشت، ۱۹ اردیبهشت، ۴ خرداد، ۱۹ خرداد	تاریخ کاشت	اکرم قادری و همکاران، ۲۰۰۳
هاشم‌آباد	۱۳۷۸	۲۸ اردیبهشت	کود های ریزمغذی	رضائی، ۲۰۰۵a
هاشم‌آباد	۱۳۷۸	۲۶ فروردین، ۱۱ اردیبهشت، ۲۵ اردیبهشت، ۸ خرداد	تاریخ کاشت	رضائی، ۲۰۰۵b
کارکنده	۱۳۸۸	۱۸ اردیبهشت، ۳ خرداد، ۲۷ خرداد	تاریخ کاشت و تراکم	فاضوی و همکاران، ۲۰۱۰
کارکنده	۱۳۸۳	۲۸ خرداد	سیستم‌های خاک‌ورزی	اکرم قادری، ۲۰۰۷
کارکنده	۱۳۸۳	۲۳ اردیبهشت، ۱۰ خرداد، ۳۰ خرداد	تاریخ کاشت و تراکم	فجری، ۲۰۰۵
کارکنده	۱۳۸۲	۲۰ اردیبهشت، ۱۰ خرداد، ۳۰ خرداد	تاریخ کاشت و تراکم	فجری، ۲۰۰۵

1- RMSE (Root Mean Square Error)

2- CV (Coefficient of Variation)



شکل ۲- فتوپریود (الف)، حداقل و حداکثر دما (ب) در طی فصل رشد پنبه در گرگان مربوط به آزمایش تاریخ‌های کاشت سریالی.

نتایج و بحث

برآورد پارامترهای مدل: همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود گیاه پنبه در فصل رشد با شرایط متنوعی از دما و طول روز مواجه شده است به‌طوری که در طول فصل رشد دما بین ۴ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد و طول روز بین ۱۰/۶ تا ۱۵/۷ ساعت متغیر بود.

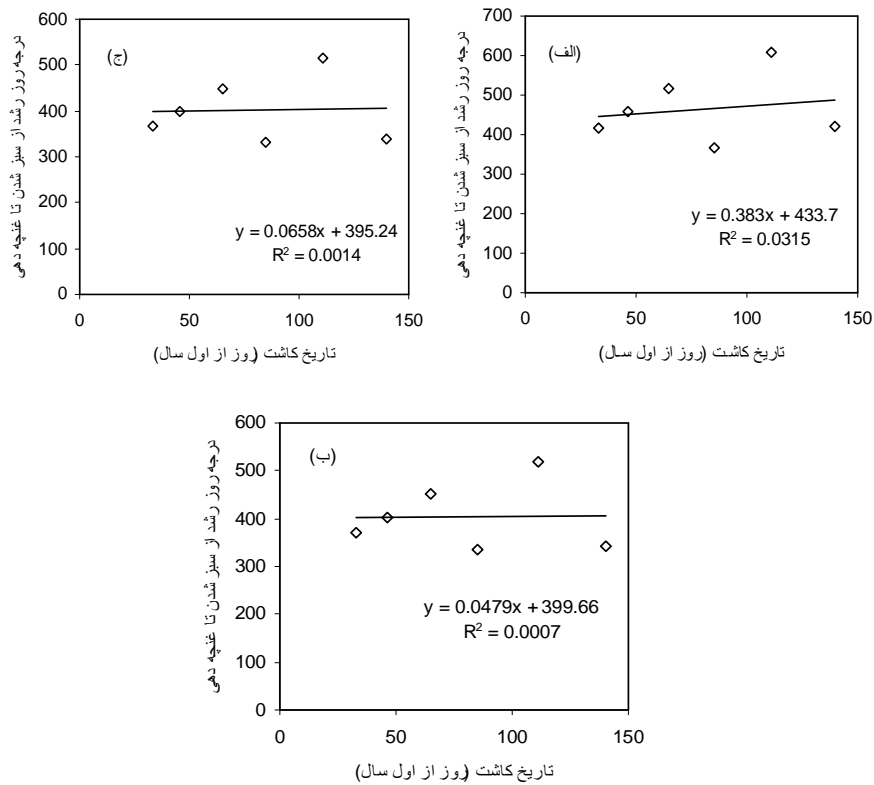
جدول ۳- روز از کاشت تا مراحل مختلف فنولوژی پنبه رقم سپید در تاریخ‌های مختلف کاشت در سال ۱۳۸۵.

روز از کاشت تا				تاریخ کاشت
باز شدن قوزه	گل‌دهی	غنچه‌دهی	سبز شدن	
۱۱۵	۷۱	۵۲	۱۸	۱۳۸۵/۲/۲
۱۱۷	۶۱	۴۴	۱۰	۱۳۸۵/۲/۱۵
۱۰۳	۵۵	۳۸	۵	۱۳۸۵/۳/۳
۹۱	۴۷	۲۸	۵	۱۳۸۵/۳/۲۳
۱۷۵	۵۹	۴۲	۶	۱۳۸۵/۴/۱۸
-*	۵۳	۳۰	۵	۱۳۸۵/۵/۱۶

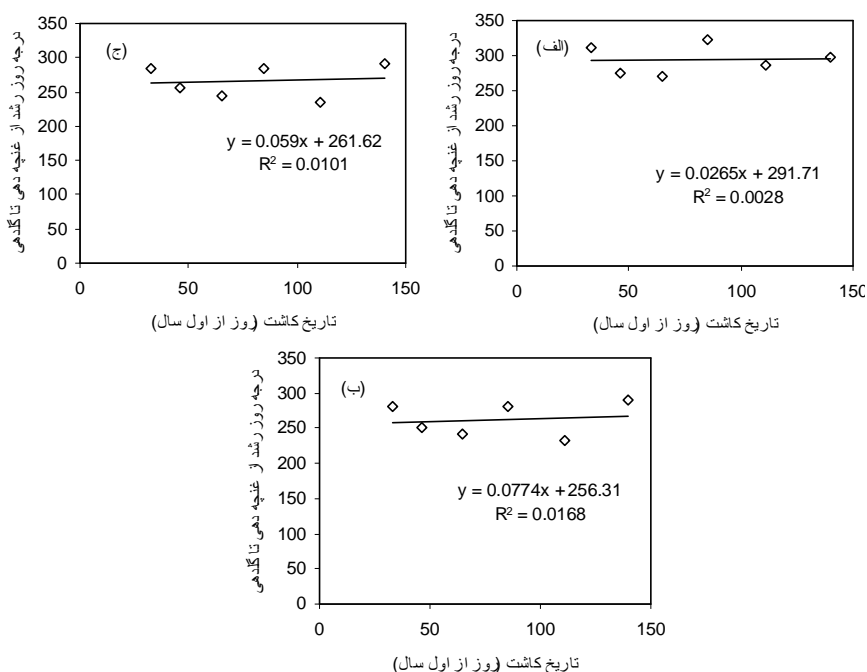
* در تاریخ کشت شانزدهم مرداد به‌دلیل برخورد دوره تشکیل قوزه با دماهای پایین آذر و دی ماه، هیچ یک از قوزه‌ها باز نشدند.

در جدول ۳ روز از کاشت تا سبز شدن، غنچه‌دهی، گل‌دهی و باز شدن قوزه در تاریخ‌های مختلف کاشت ارائه شده است. روز از کاشت تا سبز شدن بین ۵ تا ۱۸ روز، روز از کاشت تا غنچه‌دهی بین

۲۸ تا ۵۲ روز، روز از کاشت تا گل‌دهی بین ۴۷ تا ۷۱ روز و روز از کاشت تا باز شدن قوزه بین ۹۱ تا ۱۷۵ روز متغیر بود که بیانگر تنوع شرایط محیطی در طی نمو در تاریخ‌های کاشت‌های مختلف و در نتیجه مؤثر شرایط محیطی بر مراحل مختلف نمو می‌باشد.



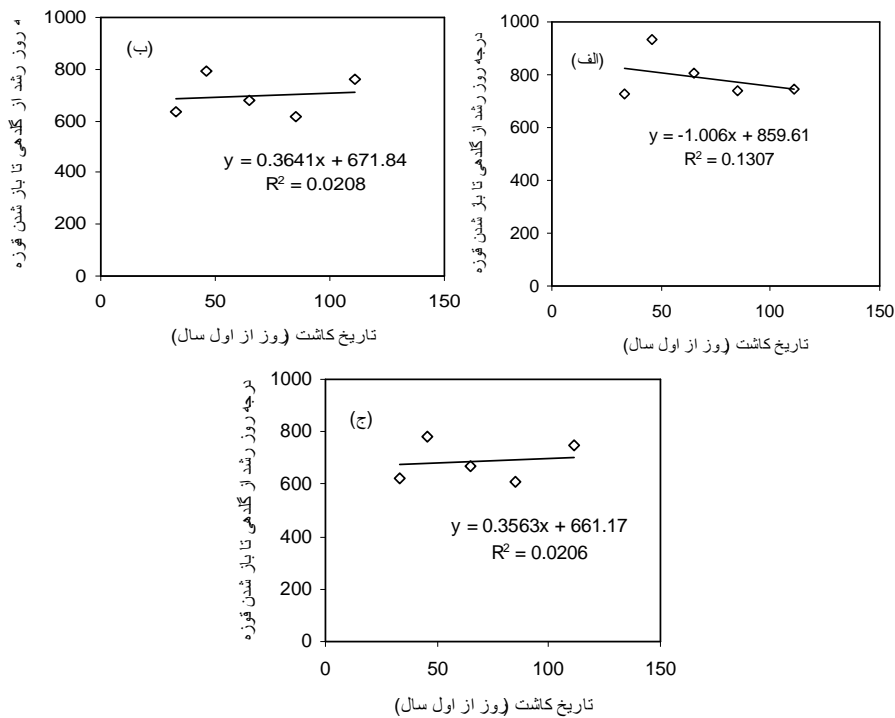
شکل ۳- واکنش درجه روز رشد محاسبه شده از سبز شدن تا غنچه‌دهی به تاریخ‌های مختلف کاشت با گام‌های زمانی روزانه (الف)، ۳ ساعته (ب) و ساعتی (ج). (داده‌ها مربوط به آزمایش‌های سریالی تاریخ کاشت در سال ۱۳۸۵ می‌باشد. در هیچ یک از موارد رگرسیون معنی‌دار نشده است).



شکل ۴- واکنش درجه روز رشد محاسبه شده از غنچه‌دهی تا گل‌دهی به تاریخ‌های مختلف کاشت با گام‌های زمانی روزانه (الف)، ۳ ساعته (ب) و ساعتی (ج). (داده‌ها مربوط به آزمایش‌های سریالی تاریخ کاشت در سال ۱۳۸۵ می‌باشد. در هیچ یک از موارد رگرسیون معنی‌دار نشده است).

برای بررسی اثرات فتوپریود بر مراحل نمو پنبه، مقدار درجه روز رشد با سه گام زمانی روزانه، سه ساعته و ساعتی برای هر مرحله نمو و برای هر تاریخ کاشت به‌طور جداگانه محاسبه گردید و در مقابل تاریخ کاشت قرار داده شد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). در بیشتر مطالعات برای محاسبه درجه روز رشد در مراحل فنولوژی گیاهان زراعی از میانگین روزانه دما استفاده می‌شود. پورسل (۲۰۰۳) بیان داشت که استفاده از دما ساعت به ساعت روزانه در محاسبه درجه روز رشد هیچ مزیتی نسبت به میانگین دما روزانه در گیاهان زراعی گرمسیری ندارد. در مطالعه‌ای دیگر سلطانی و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که اختلاف چندانی در گام‌های زمانی مختلف در نخود وجود ندارد. اما برخی از محققان

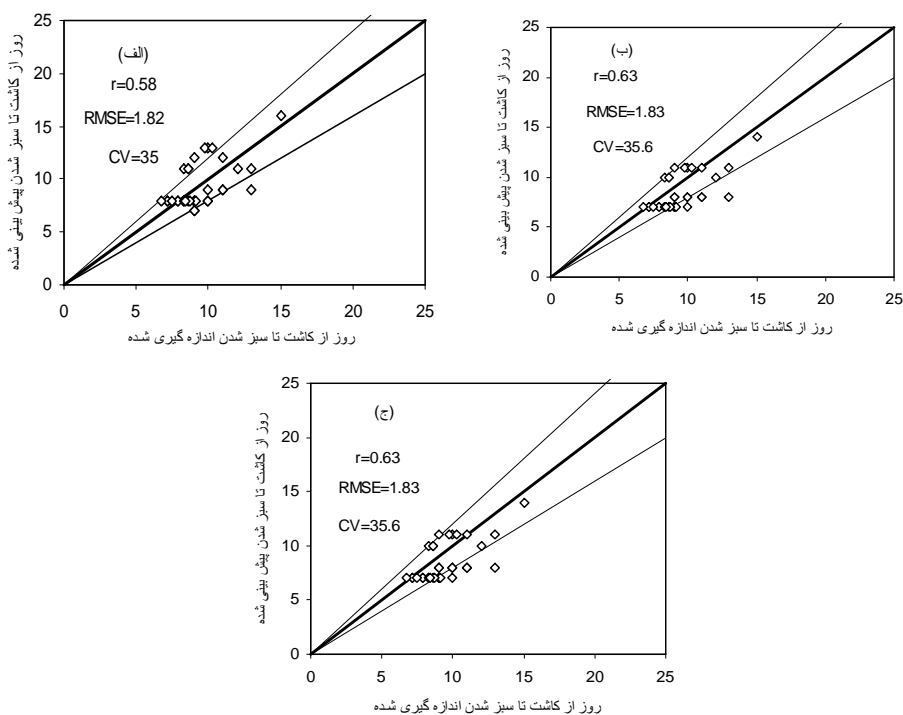
بیان داشته‌اند که استفاده از میانگین دما روزانه باعث خطا و تنوع در محاسبه درجه روز رشد می‌شود (پارتون و لوگان، ۱۹۸۱؛ ین و همکاران، ۱۹۹۶؛ سزاراچیو و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل ۵- واکنش درجه روز رشد محاسبه شده از گل‌دهی تا بازشدن قوزه به تاریخ‌های مختلف کاشت با گام‌های زمانی روزانه (الف)، ۳ ساعته (ب) و ساعتی (ج). (داده‌ها مربوط به آزمایش‌های سریالی کاشت در سال ۱۳۸۵ می‌باشد. در هیچ یک از موارد رگرسیون معنی‌دار نشده است).

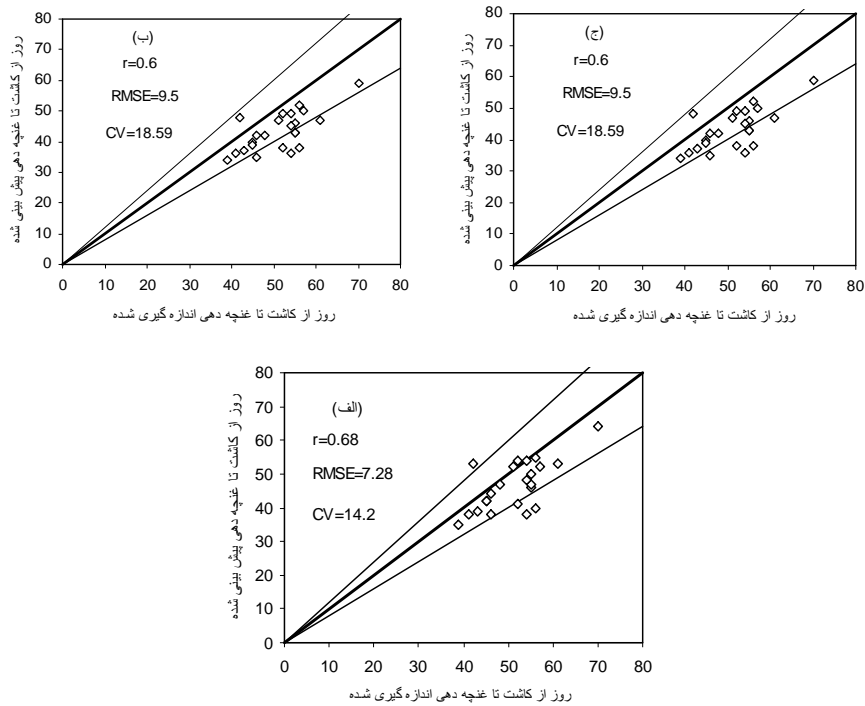
از این رو در برخی از مطالعات برای محاسبه درجه روز رشد از دما ساعت به ساعت استفاده می‌شود (گریم و همکاران، ۱۹۹۳؛ سیندر و همکاران، ۱۹۹۹). بر اساس اطلاعات مندرج در شکل‌های ۳، ۴ و ۵، درجه روز رشد از سبز شدن تا غنچه‌دهی، از غنچه‌دهی تا گل‌دهی و از گل‌دهی تا باز شدن قوزه به تاریخ کاشت در هر سه گام زمانی واکنش نشان نداد (ضریب تبیین کمتر از ۱۰) که بیانگر حساسیت نداشتن مراحل نموی پنبه به طول روز می‌باشد. در مطالعه‌ای که تان و همکاران (۲۰۰۰) انجام دادند بیان داشتند که مراحل نموی گیاه *Brassica oleracea* به فتوپریود حساس نیست و

نامبردگان از مدل فنولوژی مبتنی بر دما در پیش بینی نمو این گیاه استفاده کردند. در مطالعه‌ای دیگر، هبکوت (۱۹۹۷) گزارش کرد که در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) از کاشت تا گل‌دهی، فتوپریود و دما از عوامل مؤثر بر نمو این گیاه می‌باشند اما بعد از گل‌دهی تنها عامل دما بر نمو این گیاه تاثیر گذار می‌باشد. این نتایج بیانگر این مطلب است که هیچ یک از مراحل رشد نمو پنبه به فتوپریود حساس نیست و دما تنها عامل مؤثر بر مراحل نمو این گیاه می‌باشد و از این رو برای پیش‌بینی مراحل نمو پنبه از مدل مبتنی بر دما استفاده شد. در جدول ۴ درجه روز رشد از کاشت تا سبز شدن، غنچه‌دهی، گل‌دهی و باز شدن قوزه با گام‌های زمانی مختلف ارائه شده است.



شکل ۶- روز تا سبز شدن اندازه‌گیری شده در مقابل شبیه‌سازی شده با گام‌های زمانی روزانه (الف)، سه ساعته (ب) و ساعتی (ج) در پنبه در گرگان.

فرشید قادری فر و همکاران

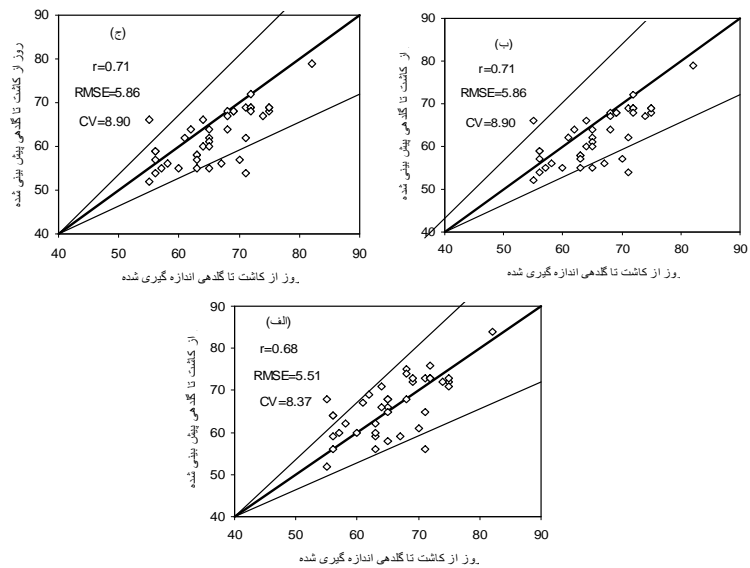


شکل ۷- روز تا غنچه‌دهی اندازه‌گیری شده در مقابل شبیه‌سازی شده با گام‌های زمانی روزانه (الف)، سه ساعته (ب) و ساعتی (ج) در پنبه در گرگان.

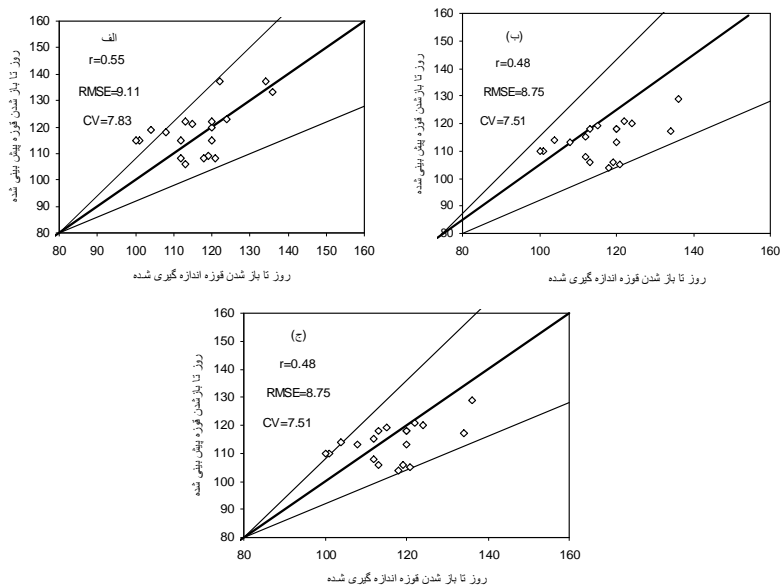
جدول ۴- میانگین درجه روز رشد محاسبه شده بر اساس تابع دو تکه‌ای از کاشت تا مراحل مختلف فنولوژی پنبه رقم سپید با گام‌های زمانی روزانه، سه ساعته و ساعتی برای سال ۱۳۸۵.

درجه روز رشد از کاشت تا											
باز شدن قوزه			گلدهی			غنچه‌دهی			سبز شدن		
CV	میانگین	SE	CV	میانگین	SE	CV	میانگین	SE	CV	میانگین	SE
۷	۱۶۴۳	۴۸	۹	۸۴۴	۳۲	۱۶	۵۵۰	۳۷	۱۶	۸۶	۵/۷
۸	۱۴۵۰	۵۲	۷	۷۴۴	۲۲	۱۵	۴۸۱	۳۰	۲۳	۷۸	۷/۴
۸	۱۴۳۸	۵۱	۷	۷۴۳	۲۲	۱۵	۴۷۷	۳۰	۲۲	۷۷	۷/۰

SE: انحراف معیار و CV: ضریب تغییرات (بر مبنای درصد) می‌باشد.



شکل ۸- روز تا گلدهی اندازه‌گیری شده در مقابل شبیه‌سازی شده با گام‌های زمانی روزانه (الف)، سه ساعته (ب) و ساعتی (ج) در پنبه در گرگان.



شکل ۹- روز تا باز شدن قوزه اندازه‌گیری شده در مقابل شبیه‌سازی شده با گام‌های زمانی روزانه (الف)، سه ساعته (ب) و ساعتی (ج) در پنبه در گرگان.

ارزیابی مدل: مقادیر درجه روز رشد تا مراحل نموّی معین شده، دماهای اصلی (کاردینال) و تابع دمایی دو تکه‌ای از پارامترهای ضروری ساخت مدل فنولوژی می‌باشد و با توجه به این پارامترها مدل فنولوژی مبتنی بر دما ساخته شد. برای ارزیابی مدل فنولوژی ساخته شده برای پنبه، از داده‌های آزمایشی مستقل انجام شده در تاریخ کاشت‌های مختلف در دو ایستگاه هاشم‌آباد و کارکنده در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ استفاده شد. در شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ روز از کاشت تا سبز شدن، غنچه‌دهی، گل‌دهی و باز شدن قوزه پیش‌بینی شده توسط مدل در مقابل مقادیر ثبت شده در گام‌های زمانی مختلف ارائه شده است. تغییرات روز تا سبز شدن، روز تا غنچه‌دهی، روز تا گل‌دهی و روز تا باز شدن قوزه در این آزمایش‌ها به ترتیب ۷ تا ۱۵، ۳۹ تا ۷۰، ۵۵ تا ۸۲ و ۱۰۰ تا ۱۳۴ روز بود که بیانگر تنوع شرایط محیطی در طی مراحل نموّ فنولوژیک پنبه در آزمایش‌های انجام شده می‌باشد. نکته قابل توجه در این شکل‌ها این است که اختلاف چندانی در پیش‌بینی مراحل فنولوژی پنبه در گام‌های زمانی مختلف وجود ندارد، که این نتایج با یافته‌های پورسل (۲۰۰۳) در سويا و سلطانی و همکاران (۲۰۰۹) در نخود مطابقت دارد. نامبردگان بین داشتند که استفاده از دما ساعت به ساعت روزانه در محاسبه درجه روز رشد هیچ مزیتی نسبت به میانگین دما روزانه ندارد. در مطالعه حاضر نیز دما ساعت به ساعت روزانه و سه ساعتی نسبت به میانگین دما روزانه برتری نداشت. از این رو برای محاسبه درجه روز رشد برای پیش‌بینی نموّ فنولوژیک پنبه می‌توان از میانگین دما روزانه استفاده کرد. جذر میانگین مربعات خطا برای روز تا سبز شدن، روز تا غنچه‌دهی، روز تا گل‌دهی و روز تا باز شدن قوزه به ترتیب $1/8$ ، $0/73$ ، $0/5$ و $9/1$ روز، ضریب تغییرات به ترتیب ۳۵، ۱۴، ۸ و ۸ درصد و ضریب همبستگی $0/58$ ، $0/68$ ، $0/68$ و $0/55$ بود. همچنین بیشتر نقاط در اطراف خط ۱:۱ می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در کلیه مراحل نموّی پیش‌بینی مدل از دقت بالایی برخوردار است و از مدل فنولوژی ساخته شده می‌توان در پیش‌بینی نموّ فنولوژیک پنبه استفاده کرد.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که (۱) هیچ یک از مراحل فنولوژیک پنبه به فتوپریود حساس نیست و تنها عامل دما بر مراحل نموّی پنبه مؤثر می‌باشد، (۲) گام‌های زمانی دما روزانه، سه ساعته و ساعتی اختلاف چندانی در پیش‌بینی مدل نداشتند از این رو می‌توان در پیش‌بینی نموّ فنولوژیک پنبه از میانگین دما روزانه استفاده کرد و (۳) مدل فنولوژی ساخته شده مبتنی بر دما پیش‌بینی

خوبی از سبز شدن، غنچه‌دهی، گل‌دهی و باز شدن قوزه ارائه داد و از این مدل فنولوژی می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی پنبه استفاده کرد.

منابع

1. Akramghaderi, F., Latifi, N., Rezaei, J., and Soltani, A. 2003. Effects of planting date on the phenology and morphology of three cotton cultivars in Gorgan. Iran. J. Agric Sci. 34 (1): 221-230. (In Persian)
2. Akramghaderi, F. 2007. The effects of tillage methods on yield and components of yield of cotton following canola. Final Report of Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. Cotton Res. Inst. p45. (In Persian)
3. Akramghaderi, F., Soltani, E., Soltani, A., and Miri, A.A. 2008. Effect of priming on response of germination to temperature in cotton. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15: 44-51 (In Persian).
4. Asare, D.K., Sammis, T.W., Assadian, H., and Fowler, J.L. 1992. Evaluating three cotton simulation models under different irrigation regimes. Agric Water Manag. 22: 391-407.
5. Baker, D.N., Lambert, J.R., and McKinion, J.M. 1983. GOSSYM: a simulator of cotton crop growth and yield. Tech Bull., 1086, S.C. Agricultural Experiment Station, Clemson, South Carolina, USA.
6. Brown, L.G., Jones, J.W., Hesketh, J.D., Hartsog, J.D., Whisler, F.D., and Harris, F.S. 1985. COTCROP: computer simulation of growth and yield. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station, Information Bulletin No 69. Mississippi State, USA.
7. Cesaraccio, C., Spano, D. and Duce, P. 2001. An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. Int. J. Biometeorol. 45: 161-169.
8. Gao, L.Z., Jin, Z.Q., Huang, Y., and Zhang, L.Z. 1992. Rice clock model- A computer simulation model of rice development. Agric. For. Meteorol. 60: 1-16.
9. Ghaderi-Far, F., Soltani, A., and Sadeghipour, H.R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. *Convar. Pepo* var. *styriaca* Greb), borage (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. J. Agric. Sci. Nat. Resour. 16 (4): 1-20. (In Persian)
10. Ghajari, A. 2005. Investigation of plant date and plant density on yield and yield components of cotton. Final Report of Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. Cotton Res. Inst. p66. (In Persian)
11. Gharanjiki, 2009. Effect of PGR (Pix) and various N levels under moisture stress on seed quality and yield of cotton. Final Report of Experimental Design.

- Iran. Agricultural Research and Education organization. Cotton Res. Inst. p53. (In Persian)
12. Ghazavi, C., Baradaran, M., Miri, A.A., and Ghaderi-Far, F. 2010. Effects plant density and sowing dates on yield of cotton. In: The 10th Iran Cong. Crop Sci. Tehran, Iran.
 13. Ghorbani Nasrabad, G. 2006. Comparison of two irrigation methods (Furrow and sprinkler) in the different growth stages of cotton and the effect on quantitative and qualitative properties of two cotton cultivars. Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. Cotton Res. Inst. p43. (In Persian)
 14. Gonzalez, F.G., Slafer, G.A., and Miralles, D.J. 2002. Vernalization and photoperiod response in wheat pre-flowering reproductive phases. Field Crops Res. 74: 183-195.
 15. Grimm, S.S., Jones, J.W., Boote, K.J., and Hesketh, D. 1993. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. Crop Sci. 33: 137-144.
 16. Grimm, S.S., Jones, J.W., Boote, K.J., and Herzog, D.C. 1994. Modeling the occurrence of reproductive stages after flowering for four soybean cultivars. Agron. J. 86: 31-38.
 17. Habekotte, B. 1997. A model of the phenological development of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Field Crops Res. 54: 127-136.
 18. Hearn, A.B. 1994. OZCOT: A simulation model for cotton crop management. Agric Sys. 44: 257-299.
 19. Kirby, E.J.M., Spink, J.H., Frost, D.L., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K., Foulkes, M.J., Clare, R.W., and Evans, E.J. 1999. A study wheat development in the field: analysis by phases. Eur. J. Agron. 11: 63-82.
 20. Kumar, S.R., Hammer, G.L., Broad, I., Harland, P., and McLean, G. 2009. Modeling environmental effects on phenology and canopy development of diverse sorghum genotypes. Field Crops Res. 111: 157-165.
 21. Loomis, R.S., and Connor, D.J. 1992. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 104-128.
 22. Major, D.J., Johnson, D.R., Tanner, J.W., and Anderson, I.C. 1975. Effects of daylength and temperature on soybean development. Crop Sci. 15: 174-179.
 23. Matthews, R.B., and Hunt, L.A. 1994. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). Field Crops Res. 36: 69-84.
 24. Miri, A.A. 2006. Determination of critical temperature for germination of delinted and fuzzy cottonseeds in laboratory and field establishment. A thesis submitted for the degree of M.Sc in Agronomy. Islamic Azad University, Bojnurd Branch. 108 p (In Persian)
 25. Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, H.W., and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Sci. 36: 1606-1614.

26. Parton, W.J., and Logan, J.A. 1981. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agric. Meteorol.* 23: 205-216.
27. Purcell, L.C. 2003. Comparison of thermal units derived from daily and hourly temperatures. *Crop Sci.* 43: 1874-1879.
28. Reddy, V.R. 1994. Modeling cotton growth and phenology in response to temperature. *Computers. Electronic. Agric.* 10: 63-73.
29. Rezaei, J. 2005a. Evaluation of the effect of balanced fertilizers of macro and micro elements on quantitative and qualitative characteristics of cotton. Final Report of Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. *Cotton Res. Inst.* p27 (In Persian).
30. Rezaei, J. 2005b. Effects of planting date on shedding, yield and yield components of three cotton cultivars. Final Report of Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. *Cotton Res. Inst.* p35 (In Persian).
31. Sohrabi Moshkabadi, B. 2006. Investigation and comparison of water need of cotton by lysimeter method. Final Report of Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. *Cotton Res. Inst.* p36 (In Persian).
32. Sohrabi Moshkabadi, B. 2009. Effect of cotton density and several water levels under surface drip irrigation. Final Report of Experimental Design. Iran. Agricultural Research and Education organization. *Cotton Res. Inst.* p48 (In Persian).
33. Sinclair, T.R., Kitani, S., Hinson, K., Bruniard, J., and Horie, T. 1991. Soybean flowering date: Linear and logistic models based on temperature and photoperiod. *Crop Sci.* 31: 786-790.
34. Soltani, A., Galeshi, S., Attarbashi, M.R., and Taheri, A.H. 2004. Comparison of two methods for estimating parameters of harvest index increase during seed growth. *Field Crops Res.* 89: 369-378.
35. Soltani, A., Hammer, G.L., Trabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006a. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. *Field Crops Res.* 99: 1-13.
36. Soltani, A., Robertson, M.J., Trabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006b. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. For Meteorol.* 138: 156-167.
37. Soltani, A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. 2nd ed., JDM Press, Mashhad, Iran. p182.
38. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in field crops, JDM Press, Mashhad, Iran. p175.
39. Soltani, A., Gholipoor, M., and Trabi, B. 2009. Comparison of thermal time calculated using different time steps for use in crop simulation. 5th International Scientific Conference of Iran and Russia on Agricultural Development Problems. 8-9 October, Saint-Petersburg.

40. Soltani, A., and Maddah, V. 2010. Applied, Simple programs for Education and Research in Agronomy. Iranian Society Ecological Agriculture, Tehran, Iran.
41. Streck, N.A., Weiss, A., Xue, Q., and Baenziger, P.S. 2003. Improving predictions of developmental stages in winterwheat: a modified Wang and Engel model. *Agric. For Meteorol.* 115: 139-150.
42. Synder, R.L., Spano, D., Cesaraccio, C., and Duce, P. 1999. Determining degree-day thresholds from field observation. *Int. J. Biometeorol.* 42: 177-182.
43. Tan, D.K.Y., Birch, C.J., Wearing, A.H., and Rickert, K.G. 2000. Predicting broccoli development. I. Development is predominantly determined by temperature rather than photoperiod. *Sci Hort.* 84: 227-243.
44. Wang, E., and Engel, T. 1998. Simulation of phenological development of wheat crops. *Agric Sys.* 58: 1-24.
45. Weir, A.H., Braggs, P.L., Porter, J.R., and Rayner, J.H. 1984. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *J., Agric. Sci. Cam.* 102: 371-382.
46. Windauer, L.B., Slafer, G.A., Ravetta, D.A., and Benech-Arnold, R.L. 2006. Environmental control of phenological development in two *Lesquerella* species. *Field Crops Res.* 96: 320-327.
47. Yin, X., Kropff, M.J., and Ellis, R.H. 1996. Rice flowering in response to diurnal temperature amplitude. *Field Crops Res.* 48: 1-9.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources
J. of Plant Production, Vol. 19(1), 2012
<http://jopp.gau.ac.ir>

Modeling phenological development in Cotton

***F. Ghaderi-Far¹, A. Soltani² and A.A. Miri³**

¹Assistant Prof. Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran, ³Cotton Research Institute, Gorgan, Iran

Received: 2010-8-17; Accepted: 2012-2-21

Abstract

Accurate prediction of crop phenology is important in crop simulation models. The objective of this work was to quantify the occurrence of phenological stages in cotton and to construct a simple phenology model. Required parameters of model were obtained from a serially sown field experiment (22 April, 5 May, 24 May, 13 June, 9 July, and 7 August in 2006). The results showed that none of developmental stages is sensitive to photoperiod (on based phenological stages reaction to GDD), so only temperature was taken into account. Also, there was no difference between hourly, 3-hourly and daily temperature data. Therefore, average daily temperature can be used in predicting developmental stages. For independent test of the model, data from different field experiments that were carried out at Hashem-Abad and Karkandeh stations were used. Root mean square errors (RMSE) between simulated and experimental data were 1.8 d for emergence, 7.2 d for squaring, 5.5 d for flowering, and 7.8 d for open boll. Therefore, this model can be used to predict development stages in cotton simulation model in non-stress conditions.

Keywords: Cotton; Simulation model; Phenology; Temperature; Photoperiod.

*Corresponding Author; Email: akranghaderi@yahoo.com