



دانشگاه گوارز، دانشکده کشاورزی، مشهد

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیستم، شماره دوم، ۱۳۹۲
<http://jopp.gau.ac.ir>

استفاده از مدل‌های چندگانه در کمی سازی سرعت ساقه‌روی گندم (رقم زاگرس)

لیلا عشقی^۱، * بهنام کامکار^۲ و مجید پوریوسف^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زنجان، ^۲استادیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۱۵

چکیده

نخستین گام در کمی‌سازی فنولوژی، برآورد دقیق پارامترهای تأثیرگذار بر فنولوژی گیاه است که این پارامترها به‌طور عمده در ارتباط با دما و فتوپریود می‌باشد. برای بررسی نحوه واکنش گندم رقم زاگرس به دما و طول روز آزمایشی با ۷ تاریخ کاشت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. به منظور کمی‌کردن واکنش سرعت ساقه‌روی گندم نسبت به دما و طول روز و برآورد پارامترهای مؤثر بر آن از ۸ تابع دمایی شامل تابع مسطح، تابع لجستیک، تابع دندان‌مانند، تابع دو تکه‌ای، تابع منحنی، تابع درجه دوم، تابع درجه سوم و تابع بتا در ترکیب با ۳ تابع طول روز شامل توابع درجه دوم، نمایی منفی و دوتکه‌ای ۲۴ مدل برای توصیف تغییرات سرعت ساقه‌روی در مقابل دما و طول روز استفاده شد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیون (a و b) بین تعداد روز از سبز شدن تا ساقه‌روی مشاهده شده در برابر تعداد روز از سبز شدن تا ساقه‌روی پیش‌بینی شده استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین مدل برای توصیف سرعت رابطه سرعت ساقه‌رفتن رقم زاگرس مدل درجه دوم - درجه دوم است. براساس این مدل مقدار دمای پایه گندم برای ورود به فاز زایشی ۷/۰۶ درجه سانتی‌گراد بود. مقدار طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز به ترتیب ۱۴/۱۹ و ۰/۰۲

*مسئول مکاتبه: behnamkamkar@yahoo.com

ساعت برآورد شد. بررسی اثرات دما و طول روز بر مرحله ساقه‌روی (مرحله گذر از فاز رویشی به زایشی) نشان داد که واکنش این رقم به طول روز از نوع روز بلند اختیاری است. همچنین با استفاده از مدل برتر درجه دوم - درجه دوم، تعداد روز بیولوژیک موردنیاز از سبز شدن تا ساقه‌روی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۱۳/۶۷ و ۶۶/۹۳ روز بیولوژیک برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: گندم؛ ساقه‌روی؛ دما؛ طول روز؛ روز بیولوژیک

مقدمه

مهم‌ترین مرحله فنولوژیک گیاه گندم، مرحله عبور گیاه از مرحله رویشی به زایشی است. در گندم و دیگر انواع غلات ساقه‌روی و تشکیل گل‌آذین و دانه جز مرحله رشد زایشی تقسیم‌بندی می‌شوند. در واقع آغازش اولین برجستگی دوگانه و سنبلچه انتهایی نشانه‌های مهم رشد زایشی می‌باشند که تحت شرایط مزرعه‌ای این مرحله تقریباً به طور ثابت با طول شدن ساقه، که باعث بالا رفتن مریستم نوک ساقه به روی خاک می‌شود، هم‌زمان است. مطالعات زیادی در مورد عوامل محیطی تأثیرگذار بر سرعت نمو انجام شده‌اند (احمدی، ۲۰۰۸). فوکوشیما و همکاران (۲۰۰۵) مراحل رشد و نمو گندم زمستانه را به سه بخش شامل کاشت تا برجستگی دوگانه، برجستگی دوگانه تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تقسیم کردند. نتایج نشان داد که طول دوره کاشت تا برجستگی دوگانه و گلدهی تا رسیدگی با افزایش یا کاهش دما به ترتیب کاهش یا افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش دما و طول روز طی مرحله برجستگی دوگانه تا گلدهی، مدت این مرحله کوتاه‌تر شد. اسلافر و راسون (۱۹۹۶) اثر دما و طول روز را بر نمو چهار ژنوتیپ گندم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که سرعت نمو به وسیله طول روز، دما و اثرات متقابل آن‌ها تغییر می‌کند. پس از تعیین فاکتورهای محیطی مؤثر بر سرعت نمو، می‌توان با استفاده از یک مدل مناسب واکنش سرعت نمو در برابر فاکتورهای محیطی (دما و طول روز) را کمی نمود.

یک مدل از رشد گیاه توصیف ریاضی شناخت ما از رفتار گیاه است. مدل‌های توصیف‌کننده فنولوژی گیاه معادلاتی هستند که رابطه سرعت نمو با متغیرهای تأثیرگذار بر فنولوژی گیاه را نشان می‌دهند (هوگنز، ۱۹۹۱). پژوهشگران مختلف از مدل‌های متفاوتی برای بررسی نحوه واکنش سرعت نمو در برابر دما و طول روز استفاده نموده‌اند (سامرفیلد و همکاران، ۱۹۹۱؛ بلکن و سلواژ، ۱۹۸۶؛

گریم و همکاران، ۱۹۹۳). هیسائو و همکاران (۲۰۰۰) مراحل فنولوژیک گندم را به چهار مرحله شامل کاشت تا سبزشدن، برجستگی دوگانه تا ظهور سنبله، ظهور سنبله تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی تقسیم کردند و نحوه تغییرات سرعت نمو در برابر میانگین دما را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در محدوده دمای نرمال مدل منحنی (منحنی‌های سهمی‌وار) مناسب‌ترین مدل برای ارزیابی نحوه پاسخ سرعت نمو به دما است. آنگس و همکاران (۱۹۸۱) پاسخ‌های ترمال و فتوترمال گندم بهاره را در هفت مزرعه مورد بررسی قرار دادند. مدلی برای میزان نمو بر مبنای درجه حرارت و طول روز بر داده‌ها برازش داده شد. مدل شامل یک تابع نمایی برای دماهای بالای حد آستانه و یک تابع نمایی برای طول روز بالای مقادیر بحرانی بود. انحراف معیار زمان تخمینی از سبزشدن تا گرده‌افشانی حدود ۳ روز بود. ارزیابی پارامترهای مدل نشان داد پاسخ نمو به دما و طول روز طی سبزشدن تا گرده‌افشانی غیر خطی است، اما پاسخ دما قبل از سبزشدن و تقریباً بعد از گرده‌افشانی خطی است. آن‌ها سه مدل توانی، نمایی و درجه دوم را بر داده‌ها برازش دادند و در نهایت مدل نمایی را به‌عنوان مدل برتر جهت ارزیابی نمو مرحله‌ای گندم انتخاب نمودند. کامکار (۲۰۰۵) برای کمی‌کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما در سه جنس ارزن (شامل ارزن معمولی *Panicum miliaceum*، مرواریدی *Pennisetum galucum* و گاورس زرد *setaria italica*) از مدل خط‌های شکسته استفاده نمود. همچنین احمدی (۲۰۰۸) برای کمی‌کردن سرعت ساقه‌روی در مقابل دما و طول روز در ارقام مختلف گندم از هشت تابع دما (شامل لجستیک، دندان‌مانند، دوتکه‌ای، مسطح، منحنی، بتا، درجه دوم و درجه سوم) و سه تابع طول روز (شامل دوتکه‌ای، درجه دوم و نمایی منفی) استفاده نمود.

مطالعه فیزیولوژی نمو گندم برای دانستن جنبه‌های فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی عملکرد امری ضروری به شمار می‌آید، زیرا اثرات عوامل معین محیطی روی رشد و عملکرد گیاه بر اساس مراحل نموی که در طی آن‌ها این عوامل عمل می‌کنند، متفاوت است. به عبارت دیگر عملکرد دانه در طی برخی از مراحل نمو نسبت به دیگر مراحل، حساسیت بیشتری به عوامل محیطی دارد. کمی‌سازی تولید و ارائه راهکارهایی که بتوانند فصل رشد گیاهان زراعی را با بهترین شرایط محیطی مؤثر بر عملکرد منطبق سازند، نیازمند درک ارتباط مراحل نمو گیاه با عوامل اقلیمی است (الیس و همکاران، ۱۹۹۰).

با توجه به اهمیت کمی‌سازی عملکرد، لازم است پارامترهای تأثیرگذار بر فنولوژی گیاه که در ارتباط با دما و طول روز هستند برآورد شوند و پس از اطمینان از برآورد صحیح این پارامترها، از آنها

در ساخت زیرمدل فنولوژی استفاده شود. بدیهی است که دماهای کاردینال، فتوپریود بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز مهم‌ترین پارامترهایی هستند که باید برآورد شوند تا گام نخست در تدوین زیرمدل فنولوژی که مهم‌ترین زیرمدل پیش‌بینی نمو و عملکرد گیاهان زراعی به شمار می‌رود، فراهم شود. این پارامترها می‌توانند در بانک اطلاعات ارقام مدل‌های مختلف برای این رقم در نظر گرفته شوند.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه آموزشی-تحقیقاتی دانشکده‌های علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش بذور گندم رقم زاگرس طی ۷ تاریخ کاشت (۱۵ آبان، ۲۸ آبان، ۱۶ آذر، ۲۳ آذر، ۱ دی، ۲۸ بهمن و ۷ اردیبهشت) کشت شدند. استفاده از تاریخ‌های کاشت مختلف به منظور قرار دادن گیاهان تحت شرایط دمایی و طول روزهای متفاوت در مزرعه بود. پیش از شروع آزمایش نمونه‌برداری از نقاط مختلف خاک محل اجرای طرح تا عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. خاک مزرعه دارای بافت سیلت-رس-لوم، اسیدیته ۷/۹ و هدایت الکتریکی ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. در هر تاریخ کاشت، کرتی با ۷ ردیف به طول یک متر با فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف نیز ۲ سانتی‌متر منظور شد و تراکم نهایی بر اساس ۳۳۰ بوته در متر مربع تنظیم گردید. عملیات داشت شامل وجین، مبارزه با بیماری‌ها و آفات شایع منطقه شامل سفیدک سطحی، سپتوریوز و زنگ زرد در مواقع لزوم انجام شد. در تاریخ کاشت‌های آخر به منظور جلوگیری از وقوع تنش خشکی، در مواقع لازم آبیاری سیفونی نیز صورت گرفت. در تاریخ کاشت‌های مختلف از هر کرت ۱۰ بوته به‌عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک انتخاب و علامت‌گذاری شد. تاریخی که در آن ۵۰ درصد از بوته‌های علامت‌گذاری شده وارد مرحله فنولوژیک ساقه‌روی شدند، به‌عنوان زمان تقویمی ساقه‌روی در نظر گرفته شد. تعداد روز از ۵۰ درصد سبزشدن تا وقوع ساقه‌روی در ۵۰ درصد از بوته‌های علامت‌گذاری شده برای محاسبه روز تا ساقه‌روی استفاده شد. همچنین عکس زمان از سبزشدن تا ساقه‌روی ($1/D_{50}$) به‌عنوان سرعت ساقه‌روی در نظر گرفته شد.

برای کمی‌کردن واکنش سرعت ساقه‌روی به دما و طول روز، تعیین دماهای کاردینال و نیز تعداد روز بیولوژیک (تعداد روز بیولوژیک موردنیاز برای ساقه‌روی تحت شرایط عدم محدودیت دما و طول

روز یا به عبارت دیگر حداقل تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌روی) مورد نیاز برای ساقه‌روی از مدل (۱) استفاده شد (همر و همکاران، ۱۹۸۹؛ هوری، ۱۹۹۴):

$$1/f = f(T) \cdot f(pp) / f_0 \quad (1)$$

در این معادله $1/f$ سرعت ساقه‌روی، $f(T)$ تابع دما، $f(pp)$ تابع طول روز و f_0 تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ساقه‌روی می‌باشد. برای محاسبه تعداد روز بیولوژیک از سبزشدن تا ساقه‌روی از مدل (۲) استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$CBD = \sum_{t=1}^n f(t) \cdot f(pp) \quad (2)$$

برای انتخاب مدل برتر از بین مدل‌های مختلف از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، ضریب همبستگی؛ معادله ۳، EF کارایی مدل؛ معادله ۴، شاخص معیار؛ معادله ۵ و ضرایب a و b ضرایب رگرسیون ساده خطی ($y=a+bx$) بین سرعت ساقه‌روی مشاهده شده (به‌عنوان X) و سرعت ساقه‌روی پیش‌بینی شده (به‌عنوان y) استفاده شد.

$$r = \frac{\sum y \hat{y}}{\sum \hat{y}^2} \quad (3)$$

که در آن $\sum y \hat{y}$ و $\sum \hat{y}^2$ به ترتیب واریانس مقادیر مشاهده‌شده، واریانس مقادیر پیش‌بینی شده و کواریانس مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده است. مقادیر r ، $-1 \leq r \leq 1$ است، که هرچه مقدارش به یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده بهتر بودن مدل است.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

راندمان مدل بین صفر و یک تغییر می‌کند. بیشتر بودن مقدار (به یک نزدیکتر باشد) راندمان مدل نشان دهنده بهتر بودن مدل است.

$$\text{index} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|\hat{y}_i - \bar{y}| + |y_i - \bar{y}|)} \quad (5)$$

که در آن \hat{y}_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده می‌باشند. مقادیر شاخص معیار از صفر تا یک متفاوت است، هرچه مقدارش به یک نزدیکتر باشد بهتر بودن مدل را نشان می‌دهد.

که در این مدل CBD تعداد روز بیولوژیک تجمعی از سبز شدن تا ساقه‌روی، $f(t)$ فاکتور دما، $f(pp)$ فاکتور طول روز و n تعداد روز تقویمی از سبز شدن تا ساقه‌رویی باشد. برای محاسبه تعداد روز بیولوژیک از داده‌های میانگین روزانه دما و طول روز استفاده شد.

در این مطالعه از ۸ تابع دمایی در ترکیب با ۳ تابع طول روز (۲۴ مدل) برای توصیف تغییرات سرعت ساقه‌روی در مقابل دما و طول روز استفاده شد، که توابع دمایی شامل تابع مسطح^۱، تابع لجستیک^۲، تابع دندان‌مانند^۳، تابع دوتکه‌ای^۴، تابع منحنی^۵، تابع درجه دوم^۶، تابع درجه سوم^۷ و تابع بتا^۸ و توابع طول روز شامل توابع درجه دوم، نمایی منفی و دوتکه‌ای بودند.

۱. تابع درجه دوم با علامت اختصاری (Q): (مدل ۶؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$f(pp) = 1 - PP_{sen} \times (CPP - PP)^2 \quad (6)$$

۲. تابع نمایی با علامت اختصاری (Ne) (مدل ۷؛ احمدی، ۲۰۰۸):

$$f(pp) = [\exp(-PP_{sen} \times (GPP - PP))] \quad (7)$$

۳. تابع دوتکه‌ای با علامت اختصاری (S): (معادله ۸؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$f(pp) = [1 - (CPP - PP) \times PP_{sen}] \quad (8)$$

در این معادلات PP ، CPP و PP_{sen} به ترتیب طول روز، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز می‌باشند.

تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری^۹ با کمک رویه PROC NLIN نرم‌افزار ساس (۱۹۹۷) صورت گرفت. در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن‌ها با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس

1. Flat Function
2. Logistic F.
3. Dent-Like F.
4. Segmented F.
5. Curvilinear F.
6. Quadratic F.
7. Cubic F.
8. Beta F.
9. Iterative optimization method

SE (خطای معیار) کمتر پارامترها و RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از RMSE (جذر میانگین مربعات خطا)، R^2 (ضریب تبیین)، ضرایب a و b (ضرایب رگرسیون ساده خطی $y=a+bx$) بین تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌روی مشاهده شده (به‌عنوان x) در برابر تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌روی پیش‌بینی شده (به‌عنوان y) استفاده شد.

مقادیر نهایی آن‌ها با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس SE (خطای معیار) کمتر پارامترها و RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از RMSE (جذر میانگین مربعات خطا)، R^2 (ضریب تبیین)، ضرایب a و b (ضرایب رگرسیون ساده خطی $y=a+bx$) بین تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌روی مشاهده شده (به‌عنوان x) در برابر تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌روی پیش‌بینی شده (به‌عنوان y) استفاده شد.

برای این منظور، ابتدا مدل‌هایی که حداقل یکی از ضرایب a و b به ترتیب با صفر و یک اختلاف معنی‌دار نشان دادند، کنار گذاشته شدند و برای پیش‌بینی به کار گرفته نشدند. معنی‌دار بودن ضریب a به این معنی است که عرض از مبدأ خط ۱:۱ اریبی دارد. معنی‌دار بودن ضریب b به این معنی است که شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱ فاصله دارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب می‌باشد. از میان مدل‌هایی که ضرایب a و b به ترتیب با صفر و یک اختلاف معنی‌دار نداشت، مدلی که RMSE کمتر و r ، EF ، R^2 و شاخص بالاتری (به یک نزدیک‌تر باشد) داشت. به‌عنوان مدل برتر برای توصیف سرعت ساقه‌روی گندم انتخاب شد.

جدول ۱. توابع دمایی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو (کامکار و همکاران، ۲۰۰۸).

معادله	علامت اختصاری	تابع دما
$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$ $f(T) = 1$	اگر $T_b < T < T_o$ اگر $T_o \leq T$	مسطح F
$f(T) = \left[\frac{1}{1 + \text{Exp}(-a \times (T - T_o))} \right]$		لجستیک L
$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)}$ $f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o2})}$ $f(T) = 1$ $f(T) = 0$	اگر $T_b < T \leq T_{o1}$ $T_{o2} < T \leq T_c$ $T_{o1} < T \leq T_{o2}$ $T \geq T_c$ or $T \leq T_b$	دندان‌مانند D
$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$ $f(T) = \left[1 - \left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right) \right]$ $f(T) = 0$	اگر $T_b < T \leq T_o$ $T_o \leq T \leq T_c$ $T \geq T_c$ or $T \leq T_b$	دوتکه‌ای S
$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_o}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right)^{\left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)^a} \right]$		بتا B
$f(T) = \left[\frac{1}{\left((T_o - T_b) \times (T_c - T_o) \left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right) \right)} \right] \times (T - T_b) \times (T_c - T) \left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)$		منحنی V
$f(T) = \left[(T - T_b) \times (T_c - T) \times \left(\frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2} \right]$		درجه دوم Q
$f(T) = a + bT + cT^2 + dT^3$		درجه سوم C

نتایج و بحث

معیارهای ارزیابی مدل‌های مختلف برای کمی کردن واکنش سرعت ساقه‌رووی در مقابل دما و طول روز در جدول ۲ نشان داده شده است. برای انتخاب مدل مناسب برای رقم زاگرس، ابتدا مدل‌هایی که حداقل یکی از ضرایب a و یا b آن‌ها به ترتیب با صفر و یک اختلاف معنی‌دار نشان دادند، کنار گذاشته شدند و برای پیش‌بینی به کار گرفته نشدند. بررسی این معیارها نشان داد که در این رقم تقریباً بیشتر مدل‌ها مدل خوبی بودند (جدول ۲). بنابراین جهت انتخاب بهترین مدل، تست داده‌ها با داده‌های مستقل احمدی (۲۰۰۸) در رقم زاگرس انجام شد. برای یافتن بهترین تابع ترکیبی، از بین توابع مختلف در توابع منحنی-نمایی منفی، منحنی-درجه دوم، منحنی-دوتکه‌ای، بتا دوتکه‌ای، مسطح-نمایی منفی، دوتکه‌ای-درجه دوم و درجه دوم-درجه دوم هیچ‌یک از ضرایب a و b معنی‌دار نشد. از بین آنها مدل درجه دوم-درجه دوم به دلیل R^2 بالاتر به عنوان مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رووی در برابر دما و طول روز انتخاب شد شکل‌های (۱-۱) و (۱-۲). البته قابل ذکر است که مقادیر $RMSE$ برای مدل‌های مختلف اختلاف نشان نداد و بسیار نزدیک به یکدیگر برآورد شدند.

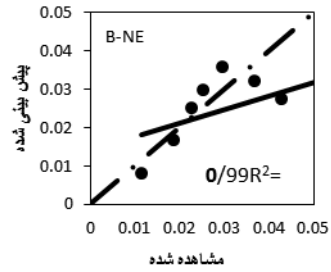
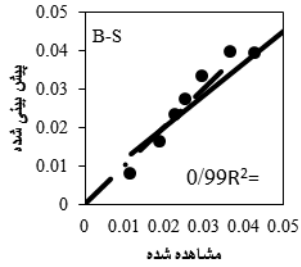
برآزش مدل خطی مربوط به داده‌های روز تا ساقه‌رووی پیش‌بینی شده در برابر روز تا ساقه‌رووی واقعی با استفاده از ۲۴ مدل ترکیبی فتوترمال در شکل‌های (۱-۲) و (۲-۲) نشان داده شده‌اند. با توجه به انتخاب مدل درجه دوم-درجه دوم به عنوان مدل برتر، این مدل تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌رووی را دقیق‌تر پیش‌بینی کرد.

مقادیر دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف)، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برای ساقه‌رووی گندم (رقم زاگرس) طبق برآورد مدل‌های مختلف در جدول (۳) نشان داده شده است. مقدار دمای پایه و مطلوب برآورد شده توسط مدل‌های مختلف برای ساقه‌رووی گندم به ترتیب $3/28$ تا $7/70$ و $23/76$ تا $29/61$ درجه سانتی‌گراد متغیر بود (جدول ۳). مدل درجه دوم-درجه دوم نیز مقدار دمای پایه گندم برای ورود به مرحله‌ی زایشی را $7/06$ درجه سانتی‌گراد برآورد نمود (جدول ۳). احمدی (۲۰۰۸) دمای پایه برای ساقه‌رووی گندم را توسط مدل دوتکه‌ای-دوتکه‌ای که مدل برتر برای توصیف سرعت ساقه‌رفتن در برابر دما و طول روز بود، بین $1/25$ تا 5 درجه سانتی‌گراد برآورد کرد. اسلافر و راسون (۱۹۹۶) مقدار دمای پایه و مطلوب در مرحله برجستگی دوگانه را به ترتیب 4 و 20 درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند طول روز بحرانی (طول روزی که در کمتر از آن سرعت ساقه‌رووی شروع به کاهش یافتن می‌کند) و ضریب حساسیت به طول روز در مدل

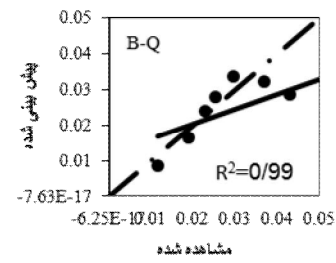
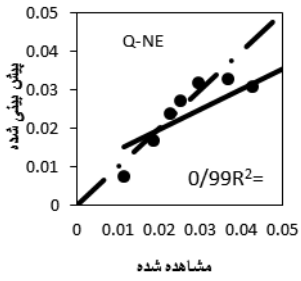
درجه دوم- درجه دوم که مدل برتر توصیف‌کننده رابطه سرعت ساقه‌رفتن در برابر دما و طول روز بود، برای رقم زاگرس به ترتیب معادل ۱۴/۱۹ ساعت و ۰/۱۵ برآورد شد (جدول ۳). بدین معنی که با افزایش طول روز تا ۱۴/۱۹ ساعت، سرعت ساقه‌روی افزایش پیدا خواهد کرد، اما طول روزهای بلندتر از آن تأثیری پرسرعت نمو نخواهند داشت.

جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (r)، کارایی مدل (EF)، شاخص معیار (index)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیون (a و b) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت ساقه‌روی با دما و طول روز در گندم (رقم زاگرس) می‌باشند.

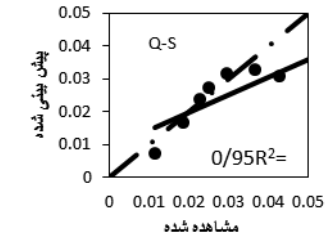
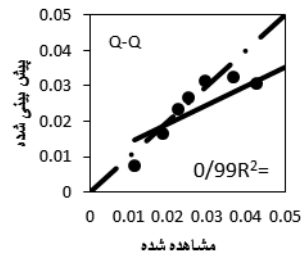
index	r	EF	RMSE	R^2	A	b	
							درجه دوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۳	۱/۰۰۱	بتا
۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	درجه دوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۷	۱/۰۰۲	درجه سوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۲	۱/۰۰۱	دندان‌مانند
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۳۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۰۲۷	۰/۹۸	دوتکه‌ای
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۰۰۱۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۲	۱/۱۹	لجستیک
۰/۴۱	۰/۷۴	۰/۱۷	۰/۰۰۸۶	۰/۵۵	۰/۰۱۱	۰/۱۷	مسطح
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۰۰۹	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۹۰	منحنی
							دوتکه‌ای
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۵	۰/۹۹	بتا
۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۰۰۱۶	۰/۹۵	-۰/۰۰۰۰۶	۱/۰۴	درجه دوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۶	۱/۰۰۲	درجه سوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۲	۱/۰۰۱	دندان‌مانند
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۹۹	دوتکه‌ای
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۵	۰/۹۹	لجستیک
۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۷۲	۰/۰۰۴۹	۰/۹۷	۰/۰۰۶۴	۰/۵۱	مسطح
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۰۰۹	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۹۲	منحنی
							نمایی منفی
۰/۹۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۷	۰/۹۹	بتا
۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۰۰۱۱	۰/۹۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹	درجه دوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۱	۱/۰۰۴	درجه سوم
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹	-۰/۰۰۰۰۰۲	۱/۰۰۰۱	دندان‌مانند
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۳۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۲	۰/۹۸	دوتکه‌ای
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۰۰۷	۰/۹۸	۰/۰۰۰۰۲	۰/۹۸	لجستیک
۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۷۹	۰/۰۰۴۲	۰/۹۸	۰/۰۰۵۵	۰/۵۸	مسطح
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۰۱۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰۲	۰/۸۳	منحنی



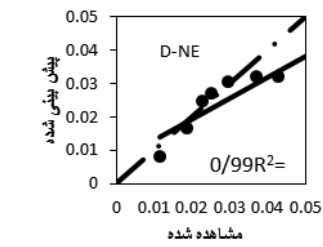
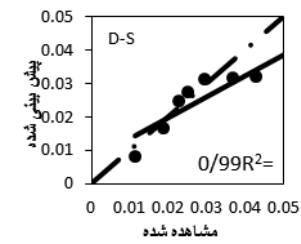
الف



ب



ث



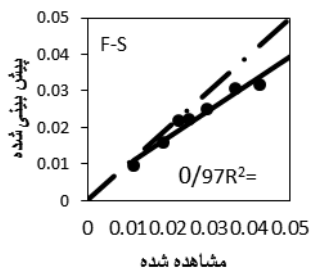
ج

ب

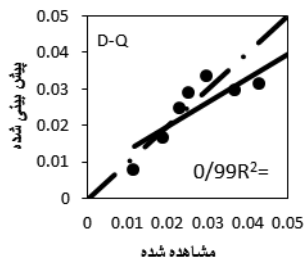
ت

د

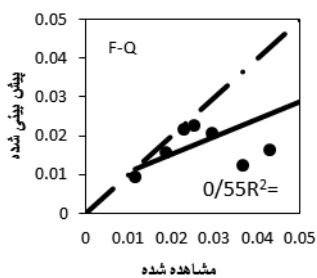
ح



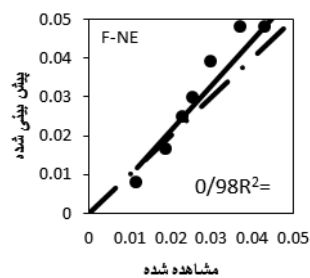
د



خ

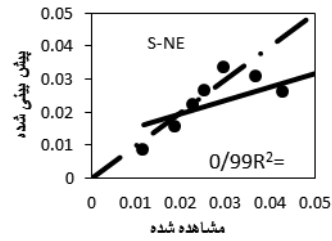
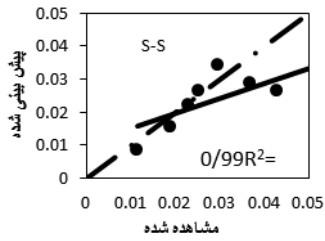


ر



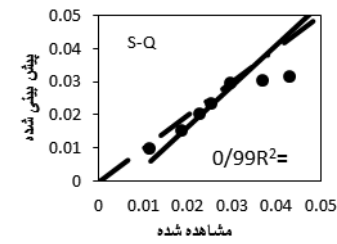
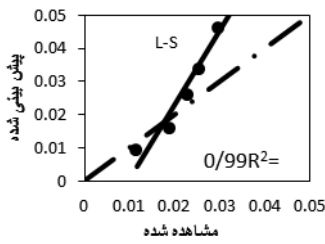
ذ

شکل ۱-۱ الف تا ر. مقادیر سرعت ساقه‌روی مشاهده‌شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های مختلف در رقم زاگرس. مدل‌ها عبارتند از: درجه دوم-درجه دوم (Q-Q)، ب، درجه دوم-دوتکه‌ای (Q-S)، درجه دوم-نمایی منفی (Q-NE)، بتا-درجه دوم (B-Q)، بتا-دوتکه‌ای (B-S)، بتا-نمایی منفی (B-NE)، دندان‌مانند-درجه دوم (D-Q)، دندان‌مانند-دوتکه‌ای (D-S)، دندان‌مانند-نمایی منفی (D-NE) و مسطح-درجه دوم (F-Q) و مسطح-دوتکه‌ای (F-S) و مسطح-نمایی منفی (F-NE).



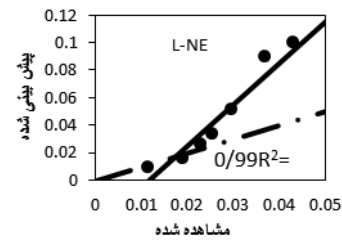
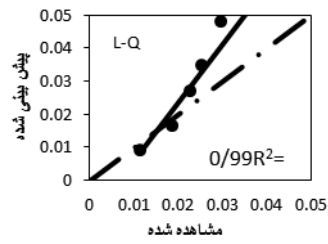
ب

الف



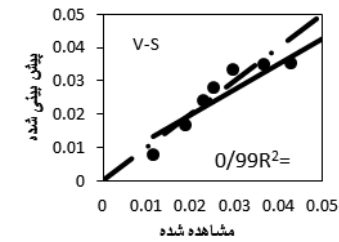
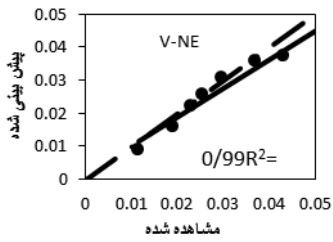
ب

ب



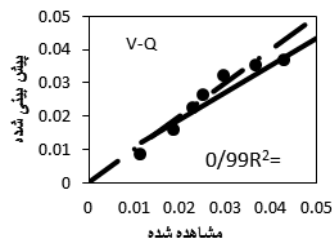
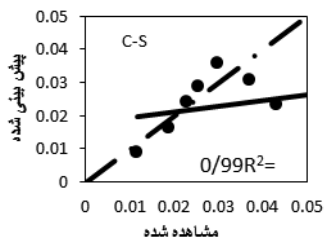
ج

ب



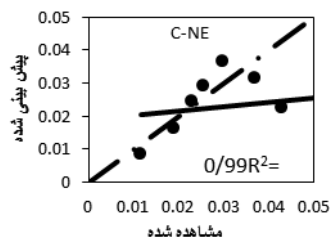
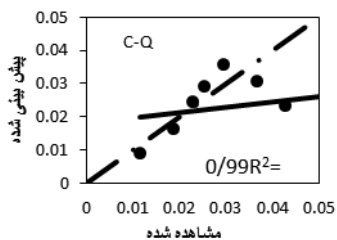
ح

ج



د

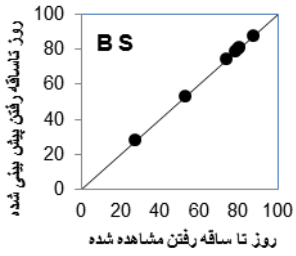
خ



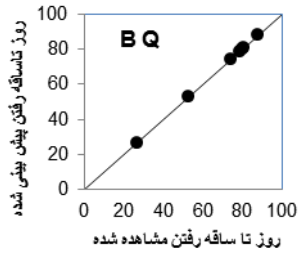
ر

ذ

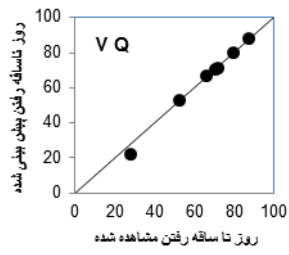
شکل ۱-۲- الف تا ر. مقادیر سرعت ساقه‌روی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های مختلف در رقم زاگرس. مدل‌ها عبارتند از: لجستیک- درجه دوم (L-Q)، لجستیک- دوتکه‌ای (L-S)، لجستیک- نمایی منفی (L-NE)، دوتکه‌ای- درجه دوم (S-Q)، دوتکه‌ای- دوتکه‌ای (S-S)، دوتکه‌ای- نمایی منفی (S-NE)، منحنی- درجه دوم (V-Q)، منحنی- دوتکه‌ای (V-S)، منحنی- نمایی منفی (V-NE) و درجه سوم- درجه دوم (C-Q) و درجه سوم- دوتکه‌ای (C-S) و درجه سوم- نمایی منفی (C-NE).



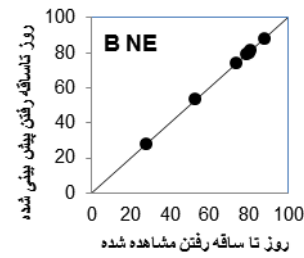
ب



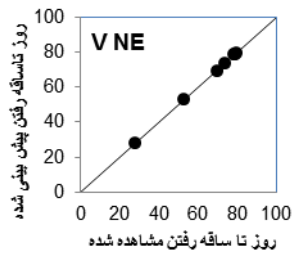
الف



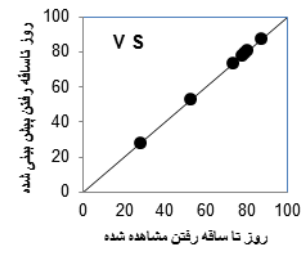
ت



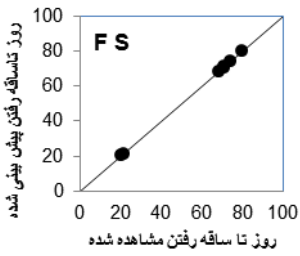
پ



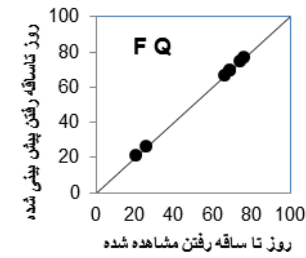
ج



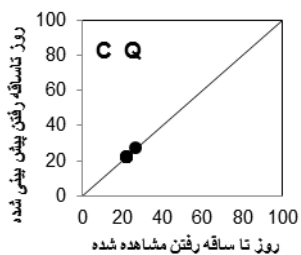
ث



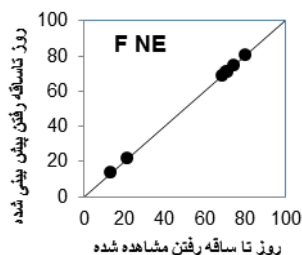
ح



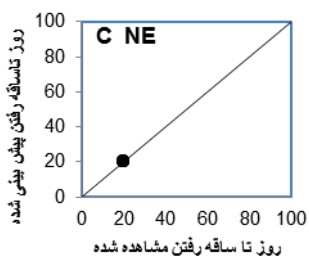
چ



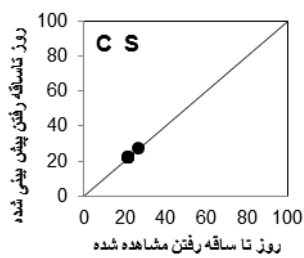
د



خ

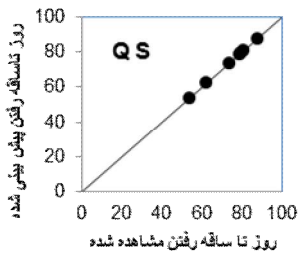


ر

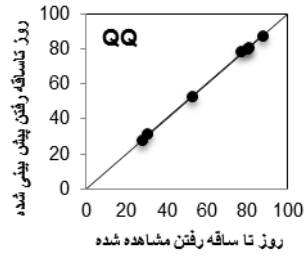


ذ

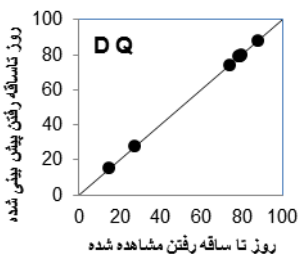
شکل ۱-۲- الف تا ر. مقادیر روز از سبز شدن تا ساقه روی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های مختلف در رقم زاگرس. مدل‌ها عبارتند از: درجه دوم- درجه دوم (Q-Q)، درجه دوم- دوتکه‌ای (Q-S)، درجه دوم-نمایی منفی (Q-NE)، بتا- درجه دوم (B-Q)، بتا- دوتکه‌ای (B-S)، بتا-نمایی منفی (B-NE)، دندان مانند- درجه دوم (D-Q)، دندان مانند- دوتکه‌ای (D-S)، دندان مانند-نمایی منفی (D-NE) و مسطح- درجه دوم (F-Q) و مسطح- دوتکه‌ای (F-S) و مسطح-نمایی منفی (F-NE).



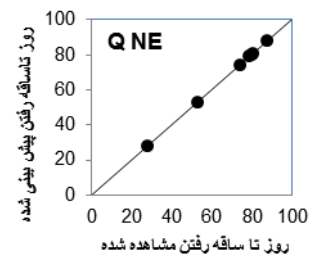
ب



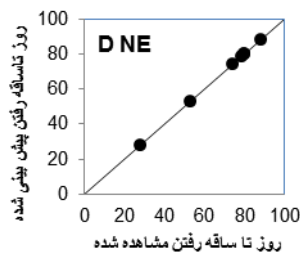
الف



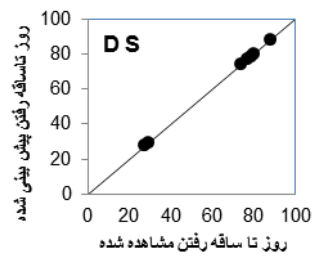
ت



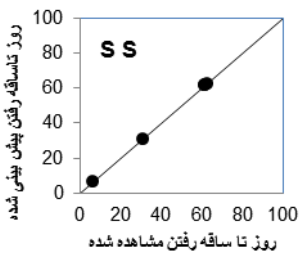
پ



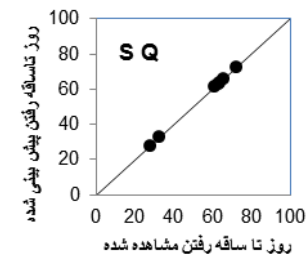
ج



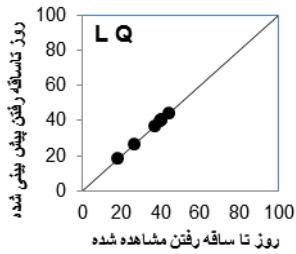
ث



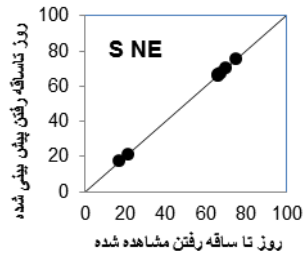
ح



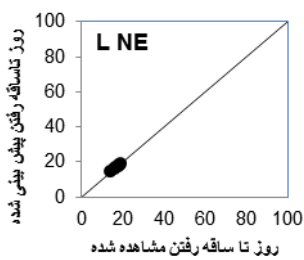
چ



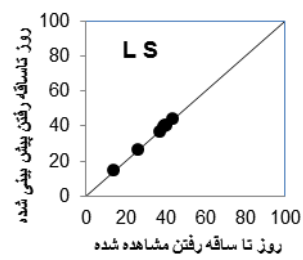
د



خ



ر



ذ

شکل ۲-۲- الف تا ر. مقادیر روز از سبز شدن تا ساقه روی مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های مختلف در رقم زاگرس. مدل‌ها عبارتند از: درجه سوم- درجه دوم (C-Q)، درجه سوم - دوتکه‌ای (C-S)، درجه سوم - نمایی منفی (C-NE)، دوتکه‌ای- درجه دوم (S-Q)، دوتکه‌ای - دوتکه‌ای (S-S)، دوتکه‌ای- نمایی منفی (S-NE)، لجستیک- درجه دوم (L-Q)، لجستیک- دوتکه‌ای (L-S)، لجستیک - نمایی منفی (L-NE) و منحنی- درجه دوم (V-Q) و منحنی- دوتکه‌ای (V-S) و منحنی- نمایی منفی (V-NE).

لیلا عشقی و همکاران

جدول ۳- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای سقف (T_c)، طول روز بحرانی (CPP) و ضریب حساسیت به طول روز (PP_{sen}) برای ساقه‌روی رقم زاگرس گندم با مدل‌های مختلف.

PP_{sen}	CPP	tc	T_o	T_b	مدل
۰/۱۵	۱۲/۳۲	-	۲۸/۱۲	۳/۲۸	
۰/۱۵	۱۲/۸۷	-	۲۸/۱۲	۳/۲۸	مسطح - نمایی منفی
۰/۱۲	۱۲/۱۲	-	۲۶/۸۱	۳/۴۳	مسطح - درجه دوم
۰/۱۸	۱۱/۹۷	-	-	-	لجستیک - دوتکه‌ای
۰/۰۳	۱۱/۰۱	-	-	-	لجستیک - نمایی منفی
۰/۱۳	۱۳	-	-	-	لجستیک - درجه دوم
۰/۴۴	۱۴/۰۳	۳۹/۵۵	۲۳/۷۶	۴/۸۱	دوتکه‌ای - دوتکه‌ای
۰/۱۲	۱۲	۳۷	۲۷/۸۵	۳/۹۹	دوتکه‌ای - نمایی منفی
۰/۵۵	۱۳/۹۳	۳۶/۹۷	۲۵/۰۵	۳/۶۱	دوتکه‌ای - درجه دوم
۰/۱۳	۱۴/۱۲	۳۷/۹۷	۲۵/۵۳	۳/۸۸	بتا - دوتکه‌ای
۰/۰۰۰۲	۱۳/۳۱	۳۲/۶۳	۲۵/۴۲	۴/۱۸	بتا - نمایی منفی
۰/۴۱	۱۳/۷۴	۴۱/۱۰	۲۶/۵۹	۳/۶۰	بتا - درجه دوم
۰/۰۱	۱۲/۵۴	۴۰	-	۷/۷۰	درجه دوم - دوتکه‌ای
۰/۱۵	۱۵/۶۹	۳۹	-	۷/۰۶	درجه دوم - نمایی منفی
۰/۰۲	۱۴/۱۹	۳۹	-	۷/۰۶	درجه دوم - درجه دوم
۰/۴۶	۱۳/۹۹	۳۹/۱۸	۲۹/۶۱	۵/۳۳	منحنی - دوتکه‌ای
۰/۴۶	۱۳/۹۹	۳۷/۳۹	۲۷/۵۰	۵/۴۴	منحنی - نمایی منفی
۰/۴۶	۱۳/۹۹	۳۵/۷۵	۲۶/۶۹	۵/۴۳	منحنی - درجه دوم
۰/۱۲	۱۵/۷۰	-	-	-	درجه سوم - دوتکه‌ای
۰/۱۳	۱۵/۷۰	-	-	-	درجه سوم - نمایی منفی
۰/۱۵	۱۵/۷۰	-	-	-	درجه سوم - درجه دوم
۰/۰۳	۱۲/۰۲	۳۷	-	۵/۳۰	دندان‌مانند - دوتکه‌ای
۰/۰۳	۱۲/۰۱	۳۷	-	۵/۲۰	دندان‌مانند - نمایی منفی
۰/۰۲	۱۲/۰۱	۳۷	-	۵/۳۰	دندان‌مانند - درجه دوم

احمدی (۲۰۰۸) طول روز بحرانی برای ارقام مختلف گندم را ۱۲/۹۶ تا ۱۴/۰۴ ساعت و هم‌چنین ضریب حساسیت به طول روز این ارقام را ۰/۱۸-۰/۱ برآورد کردند. یان و والاس (۱۹۹۸) نشان دادند که طول روز بحرانی ارقام مختلف ذرت متفاوت است. آنها مقدار روز بحرانی ذرت به‌عنوان یک گیاه روز کوتاه را ۱۵ ساعت گزارش کردند. کامکار (۲۰۰۵) مقدار روز بحرانی گیاه ارزن را توسط مدل دو تکه‌ای ۱۲/۴۳ ساعت برآورد کردند. رابرت و همکاران (۱۹۸۸) پارامترهای مربوط به طول روز ۱۰ ژنوتیپ جو را با هم مقایسه کردند. آنها گزارش کردند که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی میزان تغییرات طول روز مبنا (طول روزی که در پایین‌تر از آن سرعت گلدهی صفر است) اندک، ولی میزان تغییرات طول روز بحرانی زیاد بود. آنجلس و همکاران (۱۹۸۱) مقدار طول روز بحرانی دو رقم کندر و ۱۸۹ UQ گندم بهاره را $۷/۹۵ \pm ۰/۹۵$ و $۹/۱۶ \pm ۰/۲$ ساعت برآورد کردند.

تعداد روز بیولوژیک برای کلیه مراحل نمو از سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیک در جدول (۴) نشان داده شده است. رقم زاگرس از سبزشدن تا ساقه‌روی به ۱۹/۵۷ روز بیولوژیک نیازمند می‌باشد. به طور کلی تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیک ۶۶/۹۳ برآورد شده است.

نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین مدل برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رفتن رقم زاگرس مدل درجه دوم-درجه دوم است. براساس این مدل مقدار دمای پایه گندم برای ورود به فاز زایشی را ۷/۰۶ درجه سانتی‌گراد بود. مقدار طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز رقم زاگرس به ترتیب ۱۴/۱۹ و ۰/۰۲ برآورد شد. بررسی اثر دما و طول روز بر مرحله ساقه‌روی (مرحله گذر از فاز رویشی به زایشی) نشان داد که واکنش رقم زاگرس به طول روز از نوع روز بلند اختیاری است. به این معنی که با افزایش طول روز تا ۱۴ ساعت سرعت ورود گندم به فاز زایشی افزایش می‌یابد، ولی نمو متوقف نخواهند شد. هم‌چنین با استفاده از مدل برتر درجه دوم-درجه دوم، تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از سبزشدن تا ساقه‌روی و سبزشدن تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۱۹/۵۷ و ۶۶/۹۳ روز بیولوژیک برآورد شد.

جدول ۴- تعداد روز بیولوژیک برای کلیه مراحل نمو گندم رقم زاگرس بر اساس مدل برتر (درجه دوم- درجه دوم)

تعداد روز بیولوژیک	مرحله نمو
۵/۹۰	سبز شدن تا پنجه زنی
۱۳/۶۷	پنجه زنی تا ساقه روی
۵/۴۲	ساقه رفتن تا شروع آبستنی
۱/۴۱	شروع تا پایان آبستنی
۸/۵	پایان آبستنی تا گلدهی
۲۶/۲۷	گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک
۶۶/۹۳	سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک

منابع

- Ahmadi, M. 2008. Predicting of phenological development in wheat (*Triticum aestivum* L.). M.Sc Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 93 Pp. (In Persian)
- Angus, J.F., Mackenzie, D.H., Morton, R. and Schafer, C.A. 1981. Phasic development in field crops. II. Thermal and photoperiodic responses of spring wheat. *Field Crops Res.* 4: 269-283.
- Bleken, M.A. and Skjelvag, A.O. 1986. The phenological development of oat (*Avena sativa*) cultivars as affected by temperature and photoperiod. *Acta Agric. Scandinavica* 36: 353-365.
- Ellis, R.H., Hadley, P., Roberets, E.H. and Summerfield, R.J. 1990. Quantitative relations between temperature and crop development and growth. In: Climatic change and plant genetic resources. 85-115. Eds. Jackdon, M.T., Ford-lloyd, B.V., and Preey, M.L. London and New York. Belhaven Press.
- Folliard, A., Traore, P.C.S., Vaksman, M., and Kouressy, M. 2004. Modeling of sorghum response to photoperiod: a threshold-hyperbolic approach. *Field Crops Res.* 89: 59-70.
- Fukushima, A., Kusuda, O., Furuhashi, M. and Nakana, H. 2005. Phenological development in relation to temperature of winter wheat Iwainodaichi approach. *Field Crops Res.* 89: 59-70.
- Grimm, S.S., Jones, J.W., Boote, K.J. and Heskeh, J.D., 1993. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. *Crop Sci.* 33: 137-144.
- Hammer, G.L., Vaderlip, R.L., Gibson, G., Wade, L.J., Henzell, R.G., Younger, D.R., Warren, J. and Dale, A.B. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum. II. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. *Crop Sci.* 29: 376-384.

9. Horie, T. 1994. Crop ontogeny and development. In: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R., Paulsen, G.M. (Eds.), Physiology and Determination of Crop Yield. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, USA, Pp; 153-180.
10. Hodges, T. 1991. Predicting Crop Phenology. CRC Press, 233Pp.
11. Hisao, E., Atsush, O., Akiko, S., Masakazu, T. and Taiji, Y. 2000. Thermal responses during the phenological development of wheat. Jap. J. Crop Sci. 69: 229-234.
12. Kamkar, B. 2005. Application of a system approach for evaluation of potential yield and yield gap of cumin and three millet genus (a case study in anorthen, Razavi and Southern Khorasan provinces). Ph.D. thesis. Ferdowsi Univ. Mashhad, 177Pp. (In Persian)
13. Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A., Zeinali, E. Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. Seed Science and Biotechnology, 2 (2), 53-57.
14. Major, D. and Kiniry, J. 1991. Predicting daylength effects on phenological processes. In: T. Hodges, Editor, Predicting Crop Phenology, CRC Press, Boca Raton, Ann arbor, Bostn, Pp: 15-28.
15. SAS. 1997. SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc., Cray. NC, USA, 220p.
16. Slafer, G.A. and Rawson, H.M. 1996. Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. Field Res. 46: 1-3.
17. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. Field Crops Res. 99: 1-13.
18. Summerfield. R.J., Roberts, E.H., Ellis, R.H. and Lawn, R.J. 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. Exp. Agric. 27: 11-31.
19. Xue, Q. 2000. Phenology and gas exchange in winter wheat (*Triticum aestivum*L.). Ph.D. Dissertation, University of Nebraska-Lincoln.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Plant Production, Vol. 20 (2), 2013

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

Using Multiplicative Models to Quantify Stem Elongation Rate in Response to Temperature and Photoperiod a Case Study on Zagros Cultivar

L. Eshghi¹, *B. Kamkar² and M. Pour Yousef³

¹Graduated M.Sc Student of Zanjan University, ²Assistant Prof. Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Zanjan University

Received: 2011-04-10; Accepted: 2013-05-05

Abstract

The first step to quantify crop phenology is precise estimation of the parameters, which affect it. These parameters are mainly temperature and photoperiod. This study was conducted with seven sowing dates to quantify response of stem elongation rate (SER) to temperature and photoperiod in wheat (Zagros Cultivar). The regression models fitted to SER against temperature were flat, logistic, quadratic, cubic, dent-like, segmented, beta and curve models. Meanwhile, quadratic, negative exponential and segmented models fitted to SER against photoperiod (these models were used as 24 combined models to describe SER as a function of photothermal day). Root mean square of errors (RMSE), coefficients of determination and regression coefficients of predicted values versus observed ones were used to find the most appropriate model. Also, the phenological data obtained from an independent experiment were used for independent model evaluation. The results showed that quadratic-quadratic function was the best model to describe SER as a function of both temperature and photoperiod. Using this function, the base temperatures, critical photoperiod and photoperiod sensitivity coefficient were estimated as 7.06 °C, 14.19 h and 0.02, respectively. Study the effects of temperature and photoperiod on stem elongation phase indicated that Zagros cultivar has a quantitative or facultative long-day (LDP) response to photoperiod. Biological days required to pass from emergence to stem elongation and emergence to physiological maturity were estimated as 19.57 and 66.93, respectively.

Keywords: Wheat, Stem elongation, Temperature, Photoperiod, Biological day.

* Corresponding Author: Email: behnamkamkar@yahoo.com

