



## ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیر خطی برای پیش‌بینی سرعت به ساقه‌رفتن گندم (رقم تجن) در پاسخ به دما و طول روز

منصوره احمدی<sup>۱</sup>، \* بهنام کامکار<sup>۲</sup>، افشین سلطانی<sup>۲</sup> و ابراهیم زینلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،  
به‌ترتیب <sup>۲</sup>استادیار، استاد و استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### 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 می‌باشند. برای بررسی نحوه واکنش گندم رقم تجن به دما و طول روز آزمایشی با ۸ تاریخ‌کاشت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. به‌منظور کمی‌کردن واکنش سرعت ساقه‌رفتن گندم نسبت به دما و طول روز و برآورد پارامترهای مؤثر بر آن از ۷ تابع دمایی شامل تابع مسطح، تابع لجستیک، تابع دندان‌مانند، تابع دوتکه‌ای، تابع منحنی، تابع درجه دو و تابع بتا در ترکیب با ۳ تابع طول روز شامل توابع درجه دوم، نمایی منفی و دوتکه‌ای (۲۱ مدل) برای توصیف تغییرات سرعت ساقه‌رفتن در مقابل دما و طول روز استفاده شد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از جذر میانگین مربعات خطا (RMSD)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضرایب رگرسیون ( $a$  و  $b$ ) بین تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌رفتن مشاهده شده در برابر تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌رفتن پیش‌بینی شده استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین مدل برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رفتن رقم تجن مدل دوتکه‌ای-دوتکه‌ای است. براساس این مدل مقدار دمای پایه و مطلوب گندم برای ورود به فاز زایشی به‌ترتیب ۴/۱۴ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد بود. مقدار طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز به‌ترتیب ۱۴ ساعت و ۰/۱۷ برآورد شد. بررسی اثرات دما و طول روز بر مرحله ساقه‌رفتن (مرحله گذر از فاز رویشی به زایشی) نشان داد که واکنش

\*- مسئول مکاتبه: behnamkamkar@yahoo.com

این رقم به طول روز از نوع روز بلند اختیاری است. همچنین با استفاده از مدل برتر دو تکه‌ای - دو تکه‌ای، تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از سبز شدن تا ساقه رفتن و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۷/۶۶ و ۵۰/۳۱ روز بیولوژیک برآورد شد.

**واژه‌های کلیدی:** گندم؛ ساقه رفتن؛ 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 ساقه رفتن و تشکیل گل‌آذین و دانه جزء مرحله رشد زایشی تقسیم‌بندی می‌شوند. در واقع آغازش اولین برجستگی دوگانه و سنبلچه انتهایی نشانه‌های مهم رشد زایشی می‌باشند که تحت شرایط مزرعه این مرحله تقریباً به‌طور ثابت با شروع طویل شدن ساقه، که باعث بالا رفتن می‌ستم نوک ساقه به روی سطح خاک می‌شود، هم‌زمان است. مطالعات زیادی در مورد عوامل محیطی تأثیرگذار بر سرعت نمو انجام شده که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است. فوکوشیما و همکاران (۲۰۰۵) مراحل فنولوژیک گندم زمستانه را به سه بخش شامل کاشت تا برجستگی دوگانه، برجستگی دوگانه تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی تقسیم کردند. نتایج نشان داد که طول دوره کاشت تا برجستگی دوگانه و گلدهی تا رسیدگی با افزایش یا کاهش دما به ترتیب کاهش و 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 ۴ ژنوتیپ گندم مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که سرعت نمو به‌وسیله 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 (هوگز، ۱۹۹۱). محققان 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؛ سینکلر و همکاران، ۱۹۹۱؛ گریم و همکاران، ۱۹۹۳). هیسائو و همکاران (۲۰۰۰) مراحل فنولوژیک گندم را به ۴ مرحله شامل کاشت تا سبز شدن، 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 دماهای 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 ۷ 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 سبز شدن تا گرده‌افشانی حدود ۳ روز بود. ارزیابی پارامترهای مدل نشان داد که پاسخ نمو به دما و طول روز طی سبز شدن تا گرده‌افشانی غیرخطی است، اما پاسخ دما قبل از سبز شدن 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 کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما در سه جنس ارزن (شامل ارزن معمولی، ارزن مرواریدی و گاورس زرد) از مدل خط‌های شکسته استفاده نمود.

با توجه به اهمیت کمی‌سازی فنولوژی برای کمی‌سازی عملکرد، لازم است پارامترهای تأثیرگذار بر فنولوژی گیاه که در ارتباط با دما و فتوپریود 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. در این مطالعه سعی شده از مهم‌ترین مدل‌های غیرخطی در برآورد این پارامترها استفاده شود و روز بیولوژیک مورد نیاز برای طی مرحله حساس به دما و فتوپریود، یعنی روز از سبز شدن تا ساقه‌رفتن تعیین شود و دماهای کاردینال، فتوپریود بحرانی و ضریب حساسیت به طول

روز به‌عنوان مهم‌ترین ورودی‌های یک زیرمدل فنولوژی برای رقم تجن تعیین کردند. این پارامترها می‌توانند در بانک اطلاعات ارقام مدل‌های مختلف برای این رقم در نظر گرفته شوند.

### مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ در مزرعه آموزشی-تحقیقاتی دانشکده‌های علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. در این آزمایش بذور گندم رقم تجن طی ۸ تاریخ کاشت (۲۳ آذر، ۳۰ دی، ۱ اسفند، ۲۹ اسفند، ۲۷ فروردین، ۳۱ اردیبهشت، ۹ تیر و ۱۵ مرداد) کشت شدند. استفاده از تاریخ‌های کاشت مختلف به‌منظور 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 ۵ ردیف به طول ۵ متر با فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف نیز ۲ سانتی‌متر منظور شد و تراکم نهایی براساس ۳۳۰ بوته در مترمربع تنظیم گردید. عملیات داشت شامل وجین، مبارزه با بیماری‌ها و آفات شایع منطقه شامل سفیدک سطحی، سپتوریوز، زنگ زرد و سوسک برگ‌خوار گندم (لما) در مواقع لزوم انجام شد. در تاریخ کاشت‌های آخر به‌منظور جلوگیری از وقوع تنش خشکی، در مواقع لازم آبیاری کرتی 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 ساقه‌رفتن شدند، به‌عنوان زمان تقویمی ساقه‌رفتن در نظر گرفته شد. تعداد روز از ۵۰ درصد سبز شدن تا وقوع ساقه‌رفتن در ۵۰ درصد از بوته‌های علامت‌گذاری شده برای محاسبه روز تا ساقه‌رفتن استفاده شد. همچنین عکس زمان از سبز شدن تا ساقه‌رفتن ( $I/D50$ ) به‌عنوان سرعت ساقه‌رفتن در نظر گرفته شد.

برای کمی کردن واکنش سرعت ساقه‌رفتن به دما و طول روز، تعیین دماهای کاردینال و نیز تعداد روز بیولوژیک (تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ساقه‌رفتن تحت شرایط عدم محدودیت دما و

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

$$1/f = f(T).f(PP)/fo \quad (1)$$

در این معادله  $1/f$  سرعت ساقه رفتن،  $f(T)$  تابع دما،  $f(PP)$  تابع طول روز و  $fo$  تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ساقه رفتن می باشد. برای محاسبه تعداد روز بیولوژیک از سبزشدن تا ساقه رفتن از مدل (۲) استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$CBD = \sum_{i=1}^n f(t).f(PP) \quad (2)$$

که در این مدل CBD تعداد روز بیولوژیک تجمعی از سبزشدن تا ساقه رفتن،  $f(t)$  فاکتور دما،  $f(PP)$  فاکتور طول روز و  $n$  تعداد روز تقویمی از سبزشدن تا ساقه رفتن است. برای محاسبه تعداد روز بیولوژیک از داده های میانگین روزانه دما و طول روز استفاده شد.

در این مطالعه از ۷ تابع دمایی در ترکیب با ۳ تابع طول روز (۲۱ مدل) برای توصیف تغییرات سرعت ساقه رفتن در مقابل دما و طول روز استفاده شد، که توابع دمایی عبارت بودند از تابع مسطح<sup>۱</sup>، تابع لجستیک<sup>۲</sup>، تابع دندانمانند<sup>۳</sup>، تابع دوتکه ای<sup>۴</sup>، تابع منحنی<sup>۵</sup>، تابع درجه دو<sup>۶</sup> و تابع بتا<sup>۷</sup>. توابع طول روز مورد استفاده نیز شامل توابع درجه دوم، نمایی منفی و دوتکه ای بودند.

۱. تابع درجه دوم با علامت اختصاری (Q): (مدل ۳؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶):

$$(f(PP)) = [1 - PPsen \times (CPP - PP)^2] \quad (3)$$

- 
- 1- Flat Function
  - 2- Logistic F.
  - 3- Dent-Like F.
  - 4- Segmented F.
  - 5- Curvilinear F.
  - 6- Qubic F.
  - 7- Beta F.

۲. تابع نمایی منفی با علامت اختصاری (NE): (معادله ۴)

$$(f(PP)) = [\exp(-PPsen \times (CPP - PP))] \quad (4)$$

۳. دوتکه‌ای با علامت اختصاری (S): (معادله ۵؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶)

$$(f(PP)) = [1 - (CPP - PP) \times PPsen] \quad (5)$$

در این معادلات  $PP$ ،  $CPP$  و  $PPsen$  به ترتیب طول روز، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز می‌باشند.

تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری<sup>۱</sup> با کمک رویه *PROC NLIN* نرم‌افزار *SAS* (کانون *SAS*، ۱۹۹۲) 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 براساس  $SE$  (خطای معیار) کمتر پارامترها و  $RMSD$  (جذر میانگین مربعات خطا) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از  $RMSD$  (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 ساقه‌رفتن مشاهده شده (به‌عنوان  $X$ ) در برابر تعداد روز از سبزشدن تا ساقه‌رفتن پیش‌بینی شده (به‌عنوان  $Y$ ) و  $CV$  (ضریب تغییرات) 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 به‌کار گرفته نشدند. معنی‌دار بودن ضریب  $a$  به این معنی است که عرض از مبدأ خط رگرسیون از 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  $RMSD$  کمتر و  $R^2$  بالاتری داشت، به‌عنوان مدل برتر برای توصیف سرعت ساقه‌رفتن گندم انتخاب شد.

تابع تابع مسطح با علامت اختصاری (F)	$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$	If $T_b < T < T_o$
تابع لجستیک با علامت اختصاری (L)	$f(T) = \frac{1}{1 + \exp(-a \times (T - T_o))}$	If $T \geq T_o$
تابع دندان‌مانند با علامت اختصاری (D)	$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{o_1} - T_b)}$ $f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o_1})}$	If $T_b < T \leq T_{o_1}$ If $T_{o_1} < T \leq T_c$
	$f(T) = 1$ $f(T) = 0$	If $T_{o_1} < T \leq T_{o_1}$ If $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
تابع دو‌تکه‌ای با علامت اختصاری (S)	$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$ $f(T) = \left[ 1 - \frac{(T - T_o)}{(T_c - T_o)} \right]$	If $T_b \leq T \leq T_o$ If $T_o \leq T < T_c$
	$f(T) = 0$	If $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
تابع منحنی با علامت اختصاری (V)	$f(T) = \left[ \left( \frac{T - T_b}{(T_o - T_b) \times (T_c - T_o)} \right)^{\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)}} \times (T - T_b) \times (T_c - T) \right]^{\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)}}$	---
تابع درجه دو با علامت اختصاری (Q)	$f(T) = \left[ (T - T_b) \times (T_c - T) \times \left( \frac{T_c - T_b}{T_c - T_b} \right)^{-T} \right]$	---
تابع بتا با علامت اختصاری (B)	$f(T) = \left[ \left( \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right) \left( \frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)^a \right]^a$	---

### نتایج و بحث

معیارهای ارزیابی مدل‌های مختلف برای کمی‌کردن واکنش سرعت ساقه‌رفتن در مقابل دما و طول روز در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به معنی‌دار بودن ضریب  $a$  در مدل‌هایی که تابع طول روز آنها از نوع نمایی منفی و درجه دوم بود، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین تابع طول روز برای

گندم تابع دوتکه‌ای می‌باشد. برای یافتن بهترین تابع ترکیبی، از بین توابع دمایی مختلفی که تابع طول روز آنها از نوع دوتکه‌ای بوده است، تنها در سه مدل دوتکه‌ای - لجستیک، دوتکه‌ای - دوتکه‌ای و دوتکه‌ای - مسطح هیچ‌یک از ضرایب  $a$  و  $b$  معنی‌دار نشد. از بین آنها مدل دوتکه‌ای - لجستیک به دلیل بیشتر بودن مقدار  $RMSD$  کنار گذاشته شد. مدل دوتکه‌ای - دوتکه‌ای به علت  $RMSD$  کمتر و  $R^2$  بالاتر به عنوان مدل برتر برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رفتن در مقابل دما و طول روز انتخاب شد (جدول ۱).

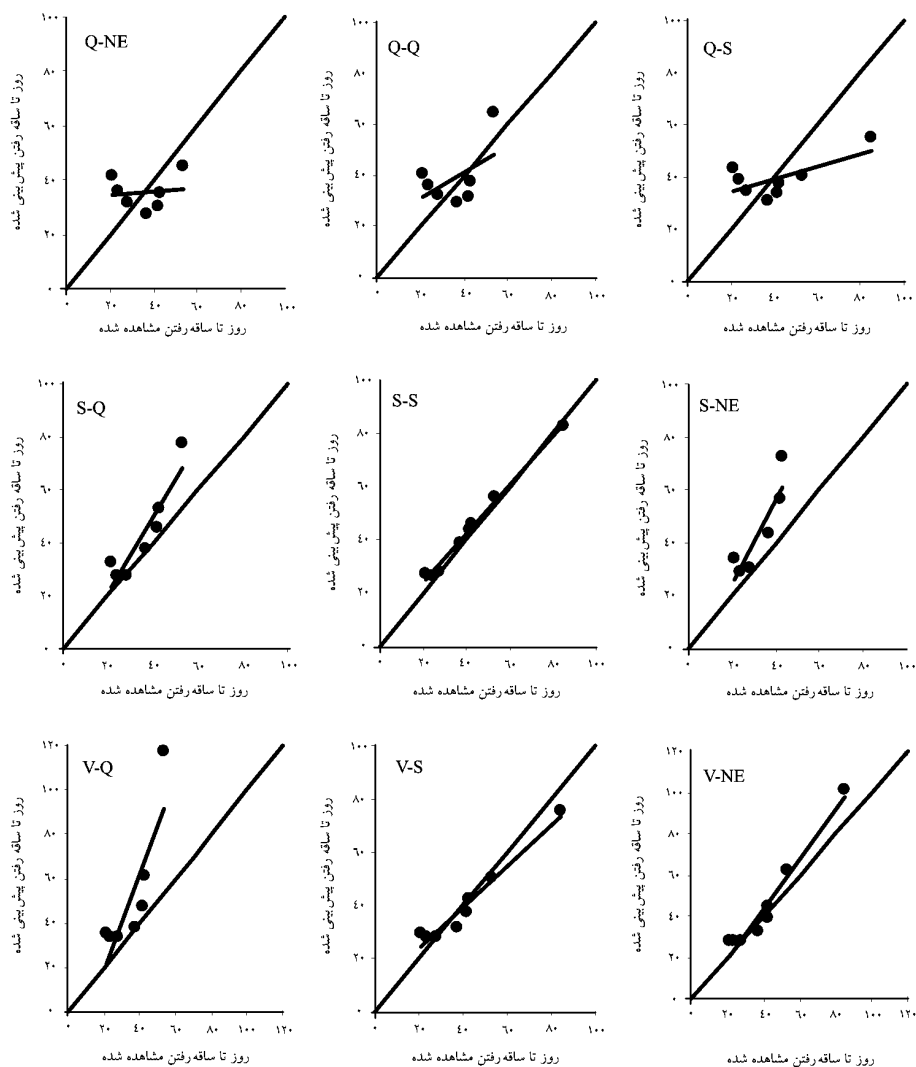
رسم مقادیر روز تا ساقه‌دهی پیش‌بینی شده در برابر روز تا ساقه‌رفتن واقعی با استفاده از ۲۱ مدل ترکیبی فتوترمال و برازش مدل خطی به این داده‌ها و مقایسه آنها با خط یک به یک در شکل‌های (۱-الف) و (۱-ب) نشان داده شده‌اند. ضریب  $b$  که میزان انحراف از خط یک به یک را نشان می‌دهد (جدول ۱) نشان داد که میزان انحراف خط برازش‌یافته از خط یک به یک در مدل دوتکه‌ای - دوتکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها کمتر بود (ضرایب  $a$  و  $b$  (جدول ۱) به عبارت دیگر مدل دوتکه‌ای - دوتکه‌ای تعداد روز از سبز شدن تا ساقه‌رفتن را دقیق‌تر پیش‌بینی کرد.

مقادیر دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف)، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برای ساقه‌رفتن گندم طبق برآورد مدل‌های مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است. مقدار دمای پایه و مطلوب برآورد شده توسط مدل‌های مختلف برای ساقه‌رفتن گندم به ترتیب از صفر تا ۶/۹۹ و ۲۱/۹۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد متغیر بود (جدول ۲). مدل دوتکه‌ای - دوتکه‌ای نیز مقدار دمای پایه و مطلوب گندم برای ورود به فاز زایشی را به ترتیب ۴/۱۴ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد برآورد نمود (جدول ۲). ویر و همکاران (۱۹۸۴) دمای پایه گندم طی سبز شدن تا برجستگی دوگانه را ۱ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. اسلافر و ساوین (۱۹۹۱) و اسلافر و راسون (۱۹۹۴) مقدار دمای پایه و مطلوب در مرحله برجستگی دوگانه را به ترتیب ۴ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند. نارسیزو و همکاران (۱۹۹۲) مقدار دماهای کاردینال مرحله ساقه‌رفتن گندم را به ترتیب کمتر از ۱۲، ۲۲-۱۵ و بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. طول روز بحرانی (طول روزی که در کمتر از آن سرعت ساقه‌رفتن شروع به کاهش یافتن می‌کند) و ضریب حساسیت به طول روز در مدل دوتکه‌ای - دوتکه‌ای که مدل برتر توصیف‌کننده رابطه سرعت ساقه‌رفتن در مقابل دما و طول روز بود، برای رقم تجن به ترتیب ۱۴/۰۰۴ ساعت و ۰/۱۷ برآورد شد (جدول ۲)، بدین معنی که با افزایش طول روز تا ۱۴ ساعت، سرعت ساقه‌رفتن افزایش پیدا خواهد کرد، اما طول روزهای بلندتر از آن تأثیری بر سرعت نمو نخواهند داشت.

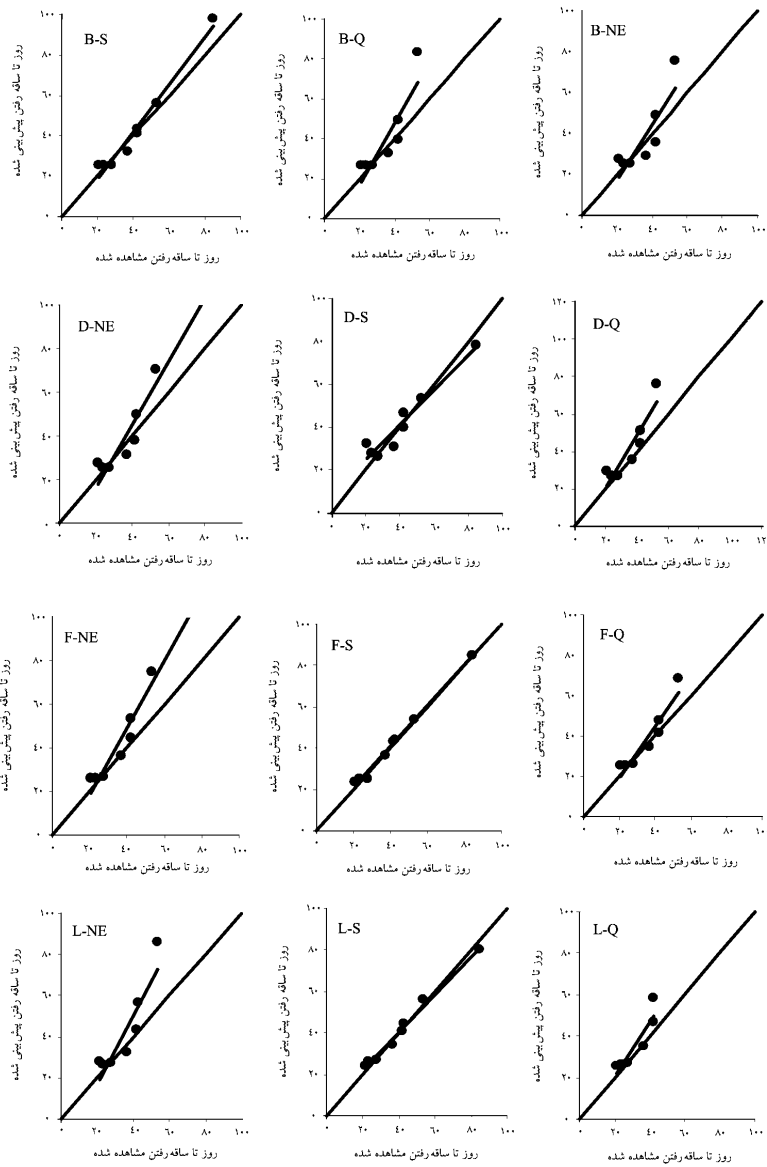


جدول ۱- جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت ساقه‌رفتن با دما و طول روز در گندم (رقم تجن). ضرایب رگرسیون (a و b) و ضریب تغییرات (CV) مربوط به رابطه روز از سبز شدن تا ساقه‌رفتن مشاهده شده و واقعی است.

CV	b±SE	a±SE	$R^2$	RMSD	تابع دما	تابع طول روز
دوتکه‌ای						
۴/۱۶	۰/۹۸±۰/۰۳	۰/۹۹±۱/۴۷	۰/۹۹	۱/۷۴	مسطح	
۶/۰۳	۰/۹±۰/۰۴	۳/۹۶±۱/۱۱	۰/۹۸	۲/۵۱	لجستیک	
۴/۴	۰/۹۲±۰/۰۳	۵/۴۲±۱/۶۱	۰/۹۸	۱/۹۲	دوتکه‌ای	
۱۲/۱	۰/۸۱±۰/۰۹	۸/۱۷±۴/۲۷*	۰/۹۱	۵/۰۷	دندان‌مانند	
۹/۷۸	۰/۰۷±۱/۱۷	-۵/۲۵±۳/۵۶*	۰/۹۶	۴/۲۴	بتا	
۱۵/۵۹	۰/۲۴±۰/۱۱*	۲۹/۳۷±۵/۱۶*	۰/۳۳	۶/۱۴	درجه دوم	
۸/۹۲	۰/۷۷±۰/۰۶	۸/۲۸±۳/۰۲*	۰/۹۵	۳/۵۹	منحنی	
نمایی منفی						
۱۱/۴۵	۱/۵۴±۰/۱	-۱۳/۵۲±۴/۸۹*	۰/۹۶	۵/۸۱	مسطح	
۲۵/۰۷	۱/۶۹±۰/۳۷	-۱۶/۹۷±۱۳/۸۹*	۰/۷۶	۱۰/۷۴	لجستیک	
۲۰/۳۵	۱/۵۹±۰/۴۲	-۷/۳±۱۴/۳۱*	۰/۷۲	۹/۰۱	دوتکه‌ای	
۱۶/۲	۱/۴۵±۰/۱۴	-۱۲/۷۸±۶/۴۶*	۰/۹۳	۷/۶۸	دندان‌مانند	
۲۶/۷۴	۱/۳۶±۰/۳۵	-۱۰/۰۱±۱۳/۱۸*	۰/۶۹	۱۰/۱۹	بتا	
۱۹/۵۹	۰/۰۷±۰/۲۴*	۳۲/۵۶±۸/۹۳*	۰/۰۱	۶/۹۱	درجه دوم	
۱۲/۵۳	۱/۲۱±۰/۱	-۴/۹۹±۴/۷۸*	۰/۹۵	۵/۶۹	منحنی	
درجه دوم						
۱۴/۲	۱/۲۹±۰/۱۹	-۷/۲۹±۷/۰۶*	۰/۸۸	۵/۴۶	مسطح	
۱۷/۵	۱/۲۹±۰/۳	-۵/۳۳±۱۰/۱۲*	۰/۷۷	۶/۳۷	لجستیک	
۱۸/۳۲	۱/۳۹±۰/۲۷	-۶/۰۷±۱۰/۲*	۰/۸	۷/۸۹	دوتکه‌ای	
۱۸/۵۷	۱/۴±۰/۲۶	-۸/۳۸±۹/۸۸*	۰/۸۱	۷/۶۵	دندان‌مانند	
۲۶/۲۵	۱/۵۵±۰/۳۷	-۱۴/۶±۱۳/۷*	۰/۷۳	۱۰/۶	بتا	
۲۸/۸۵	۲/۵۲±۰/۳۹*	۲۰/۱۵±۱۴/۴۸*	۰/۱۲	۱۱/۲	درجه دوم	
۱۸/۳۲	۱/۳۹±۰/۲۷	-۶/۰۷±۱۰/۲*	۰/۸	۷/۸۹	منحنی	



شکل ۱- الف- مقادیر روز از سبزشدن تا ساقه رفتن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل های مختلف در رقم تجن. مدل ها عبارتند از: درجه دوم- دوتکه ای (Q-S)، درجه دوم- نمایی منفی (Q-NE)، درجه دوم- درجه دوم (Q-Q)، دوتکه ای- دوتکه ای منفی (S-NE)، دوتکه ای- درجه دوم (S-Q) و منحنی- دوتکه ای (V-S)، منحنی- نمایی منفی (V-NE) و منحنی- درجه دوم (V-Q).



شکل ۱- ب- مقادیر روز از سبزشدن تا ساقه رفتن مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده با مدل های مختلف در رقم تجن. مدل ها عبارتند از: بتا- دوتکه ای (B-S)، بتا- نمایی منفی (B-NE)، بتا- درجه دوم (B-Q)، دندان مانند- دوتکه ای (D-S)، دندان مانند- نمایی منفی (D-NE) و دندان مانند- درجه دوم (D-Q)، مسطح- دوتکه ای (S-F)، مسطح- نمایی منفی (F-NE)، مسطح- درجه دوم (F-Q)، لجستیک- دوتکه ای (L-S)، لجستیک- نمایی منفی (L-NE) و لجستیک- درجه دوم (L-Q).

جدول ۲- برآورد دمای پایه ( $T_b$ )، دمای مطلوب ( $T_o$ )، دمای سقف ( $T_c$ )، طول روز بحرانی ( $CPP$ ) و ضریب حساسیت به طول روز ( $PPsen$ ) برای ساقه‌رفتن رقم تجن گندم با مدل‌های مختلف. دمای سقف به‌طور ثابت ۳۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است.

مدل	$T_b$	$T_o$	$T_c$	$CPP$	$PPsen$
مسطح- دوتکه‌ای	۵±۰/۳۷	۲۱/۹۵±۱/۱۸	۳۷	۱۳/۴±۰/۲۹	۰/۲۲±۰/۰۸
مسطح- نمایی منفی	۱/۷۲±۳/۱۸	۲۷±۰/۴۵	۳۷	۱۲/۵۲±۱/۵۵	۰/۱۲±۰/۰۱
مسطح- درجه دوم	۰±۳/۶	۲۷/۰۱±۱/۹۵	۳۷	۱۲/۴۷±۱/۲۴	۰/۱۲±۰/۰۱
لجستیک- دوتکه‌ای	۱	۲۹	۳۷	۱۳/۴۹±۰/۷۲	۰/۱۵±۰/۰۳
لجستیک- نمایی منفی	۱/۲۱	۲۶/۷۸	۳۷	۱۳/۶۴±۳/۲	۰/۱±۰/۰۲
لجستیک- درجه دوم	۲/۵۳	۲۹/۲۵	۳۷	۱۲/۰۹±۳/۴۱	۰/۱۳±۰/۰۵۵
دوتکه‌ای- دوتکه‌ای	۴/۱۴±۲/۰۴	۲۸±۰	۳۷	۱۴/۰۰۴±۰/۴۲	۰/۱۷±۰/۰۵
دوتکه‌ای- نمایی منفی	۴/۶۹±۵/۸۸	۲۸±۱/۱۶	۳۷	۱۲/۶۵±۳/۲۲	۰/۱۴±۰/۰۶
دوتکه‌ای- درجه دوم	۱±۴/۸۶	۲۷/۸±۳/۷۶	۳۷	۱۲/۰۳±۱/۲	۰/۱۶±۰/۰۳
بتا- دوتکه‌ای	۵±۳/۹	۲۷/۹۶±۱/۶	۳۷	۱۲/۹۹±۰/۶۷	۰/۱۷±۰/۰۳
بتا- نمایی منفی	۵±۰/۳۷	۲۶/۵±۱/۳	۳۷	۱۳/۲۳±۱/۱	۰/۱۹±۰/۰۵
بتا- درجه دوم	۵±۰	۲۸/۷۸±۳	۳۷	۱۳/۰۳±۱/۹۹	۰/۱±۰/۰۵
درجه دوم- دوتکه‌ای	۵±۳/۱	.	۳۷	۱۲/۱۲±۱/۵۷	۰/۲±۰/۰۴
درجه دوم- نمایی منفی	۳/۴±۱/۵	.	۳۷	۱۳/۴۶±۱/۲۱	۰/۱±۰/۰۵
درجه دوم- درجه دوم	۵±۴/۲	.	۳۷	۱۲/۸۸±۱/۴۵	۰/۱۴±۱/۱۸
منحنی- دوتکه‌ای	۵±۴/۰۹	۲۶±۰	۳۷	۱۲/۱۲±۱/۴۳	۰/۱۵±۰/۰۴
منحنی- نمایی منفی	۳/۳۲±۶/۸۶	۲۸±۳/۳۹	۳۷	۱۲/۳۲±۱/۰۶	۰/۱۱±۰/۰۹
منحنی- درجه دوم	۶/۹۹±۰	۲۶±۳/۱۸	۳۷	۱۳/۰۸±۲/۷۴	۰/۱±۰/۰۲

زو ۸ (۲۰۰۰) مقدار طول روز بحرانی ارقام آراپاهو و کارل ۹۲ گندم را به ترتیب ۹/۵ و ۷ ساعت برآورد کردند. آنها همچنین ضریب حساسیت به طول روز این ارقام را ۰/۳۴ و ۰/۱۶ در ساعت برآورد نمودند. یان و والاس (۱۹۹۸) نشان دادند که طول روز بحرانی ارقام مختلف ذرت متفاوت است. آنها مقدار طول روز بحرانی ذرت به‌عنوان یک گیاه روز کوتاه را ۱۵ ساعت گزارش کردند. کامکار (۲۰۰۴) مقدار طول روز بحرانی گیاه ارزن را توسط مدل دوتکه‌ای ۱۲/۴۳ ساعت و فولیارد و همکاران (۲۰۰۴)

طول روز بحرانی سورگوم را ۱۲/۷ 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 سقف (طول روزی که در پایین‌تر از آن سرعت گلدهی صفر است) اندک، ولی میزان تغییرات طول روز بحرانی زیاد بود. ماژور و کنری (۱۹۹۱) دریافتند که دامنه طول روز بحرانی ارقام مختلف برنج ۱۰-۱۳ ساعت بود. آنها همچنین طول روز بحرانی ذرت و ارقام مختلف سورگوم را ۱۲/۵ و ۱۲±۱ ساعت گزارش کردند. در همان مطالعه متوسط طول روز بحرانی برای برخی گیاهان روز بلند مانند گندم، جو، یولاف و چاودار ۱۷/۷ ساعت تعیین شد. آنگس و همکاران (۱۹۸۱) مقدار طول روز بحرانی دو رقم کندر و UQ189 گندم بهاره را ۷/۹۵±۰/۹۵ و ۹/۱۶±۰/۲ ساعت برآورد کردند.

تعداد روز بیولوژیک برای کلیه مراحل نمو از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک در جدول (۳) نشان داده شده است. رقم تجن از مرحله سبز شدن تا ساقه‌رفتن به ۷/۶۶ روز بیولوژیک نیازمند می‌باشد. به‌طور کلی تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک ۵۰/۳۱ برآورد شده است.

جدول ۳- تعداد روز بیولوژیک برای مراحل مختلف نمو گندم رقم تجن.

مرحله نمو	تعداد روز بیولوژیک
سبز شدن تا پنجه‌زنی	۱/۵۷
پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن	۶/۰۹
ساقه‌رفتن تا شروع آبستنی	۵/۸۲
شروع تا پایان آبستنی	۱/۳۶
پایان آبستنی تا گلدهی	۶/۵۸
گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک	۲۶/۱۶
سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک	۵۰/۳۱

نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین مدل برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رفتن رقم تجن مدل دوتکه‌ای-دوتکه‌ای است. براساس این مدل مقدار دمای پایه و مطلوب گندم برای ورود به فاز زایشی به ترتیب ۴/۱۴ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد بود. مقدار طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز

رقم تجن به ترتیب ۱۴ ساعت و ۰/۱۷ برآورد شد. بررسی اثرات دما و طول روز بر مرحله ساقه‌رفتن (مرحله گذر از فاز رویشی به زایشی) نشان داد که واکنش رقم تجن 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 و طول روزهای بلندتر از ۱۴ ساعت تأثیری بر سرعت نمو ندارند و سرعت نمو ثابت می‌ماند. در صورتی که این گیاه در معرض طول روزهای کوتاه قرار بگیرد، سرعت نمو آن کاهش می‌یابد، ولی نمو متوقف نخواهد شد. همچنین با استفاده از مدل برتر دوتکه‌ای-دوتکه‌ای، تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز از سبز شدن تا ساقه‌رفتن و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب ۷/۶۶ و ۵۰/۳۱ روز بیولوژیک برآورد شد.

#### منابع

- 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.
- 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 seeded early in southwestern Japan. *Plant Prod. Sci.* 8: 152-156.
- 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.
- 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.
- Hodges, T. 1991. *Predicting Crop Phenology*. CRC Press, 233p.
- 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.

- 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 Northern, Razavi and Southern Khorasan provinces). Ph.D. thesis. Ferdowsi Univ. Mashhad, 177p.
- 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, Boston, pp. 15-28.
- Narciso, G., Ragni, P., and Venturi, A. 1992. Agrometeorological Aspects of Crops in Italy, Spain and Greece. Joint Research Centre, Commission of the European Communities, Brussels-Luembourg. 440p.
- Roberts, E.H., Summerfield, R.J., Ellis, R.H., and Stewart, K.A. 1988. Photothermal time for flowering in lentils and the analysis of potential vernalization responses. *Ann. Bot.* 61: 29-39.
- Sinclair, T.R., Kitani, S., Hinson, K., Brunuard, J, and Horie, T., 1991. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. *Crop Sci.* 31: 786-790.
- SAS institute. 1997. SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc., Cary. NC,USA, 220 p.
- Slafer, G.A., and Rawson, H.M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 393-426.
- Slafer, G.A., and Rawson, H.M. 1996. Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. *Field Crops Res.* 46: 1-13.
- Slafer, G.A., and Savin, R. 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *J. Exp. Bot.* 42: 1077-1082.
- 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.
- 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.
- Weir, A.H., Bragg, P.L., Porter, J.R., and Rayner, J.H. 1984. A winter wheat crop simulation model without water on nutrient limitations. *J. Agric. Sci. Camb.* 102: 371-382.
- Xue, Q. 2000. Phenology and gas exchange in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) Ph.D. Dissertation, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln.
- Yan, W., and Wallace, D.H. 1998. Simulation and prediction of plant phenology for five crops based on photoperiod $\times$ temperature interaction. *Ann. Bot.* 81: 705-716.



## **Evaluation of non-Linear regression models to predict stem elongation rate of wheat ((Tajan cultivar) in response to temperature and Photoperiod**

**M. Ahmadi<sup>1</sup>, \*B. Kamkar<sup>2</sup>, A. Soltani<sup>2</sup> and E. Zeinali<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Graduated M.Sc Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), <sup>2</sup>Faculty members, Dept. of Agronomy, GUASNR

### **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 eight sowing dates to quantify response of stem elongation rate (SER) to temperature and photoperiod in wheat (Tajan Cultivar). The regression models fitted to SER against temperature were flat, logistic, quadratic, cubic, dent-like, segmented and curve models. Meanwhile, quadratic, negative exponential and segmented models fitted to SER against photoperiod (these models were used as 21 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. The results showed that segmented-segmented function was the best model to describe SER as a function of both temperature and photoperiod. Using this function, the base and optimum temperatures, critical photoperiod and photoperiod sensitivity coefficient were estimated as 4.14 °C, 28 °C, 14 h and 0.17, respectively. Study the effects of temperature and photoperiod on stem elongation phase indicated that Tajan 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 7.66 and 50.31, respectively.

**Keywords:** Wheat; Stem elongation; Temperature; Photoperiod; Biological day

---

\*- Corresponding Author; Email: [behnamkamkar@yahoo.com](mailto:behnamkamkar@yahoo.com)