"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و یکم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۸

مقاله پژوهشی

برآورد فراسنجه‌های فنولوژی در مدل SSM-Wheat برای ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در استان گلستان

Estimation of phenological parameters in SSM-Wheat model for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Golestan province of Iran

محمد حسن پناهی[۱]، افشین سلطانی[۲]، ابراهیم زینلی[۳]، مهدی کلاته عربی[۴] و علیرضا نه‌بندانی[۵]

چکیده

پناهی، م.ح.، ا. سلطانی، ا. زینلی، م. کلاته عربی و ع.ر. نه‌بندانی. ۱۳۹۸. برآورد فراسنجه‌های فنولوژی در مدل SSM-Wheat برای ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در استان گلستان. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۱(٤): ۳۱٤-۳۰۲**

به منظور محاسبه فراسنجه‌های (پارامترهای) مورد نیاز زیر مدل فنولوژیک در مدل SSM-Wheat (دماهای کاردینال، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز) و تعیین تعداد روز زیستی (روز بیولوژیک) ژنوتیپ‌های گندم در استان گلستان، آزمایشی در ۱۲ تاریخ کاشت با هشت ژنوتیپ گندم (مروارید، تجن، کوهدشت، دریا، گنبد، آرتا، N-87-20 و N-87-19) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ اجرا شد. در این آزمایش از مدل بتا- درجه دوم برای توصیف رابطه تغییرات سرعت نمو تا ساقه رفتن با استفاده از دما و طول روز استفاده شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گندم از نظر دماهای کاردینال و طول روز بحرانی وجود نداشت، ولی از نظر تعداد روز زیستی و ضریب حساسیت به طول روز تفاوت داشتند، بنابراین در مدل دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) برای کلیه ژنوتیپ‌های گندم به ترتیب صفر، ۲۸ و ٤۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شدند. بعلاوه طول روز بحرانی در این مدل ۲۱ ساعت بدست آمد. ضریب حساسیت به طول روز برای ژنوتیپ‌های گندم بین ۰/۰۰۲۷۲ تا ۰/۰۰٦۹۱ تعیین شد. ژنوتیپ‌های گندم از نظر مراحل فنولوژیک کاشت تا سبزشدن (٦/۲ روز زیستی)، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن (۷/۹ روز زیستی)، آبستنی تا سنبله‌رفتن (۳/٤ روز زیستی)، سنبله‌رفتن تا گرده‌افشانی (٦/٤ روز زیستی) و از رسیدگی فیزیولوژیک تا برداشت (٦/۸ روز زیستی) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، با این حال از نظر مراحل فنولوژیک سبزشدن تا پنجه‌زنی (٦/۵ تا ۹/۹ روز زیستی)، ساقه‌رفتن تا آبستنی (٤/۷ تا ۵/۹ روز زیستی) و گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک (۲۱/۱ تا ۲٤/۸ روز زیستی) دارای تفاوت معنی‌داری بودند. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی به‌ترتیب ۷/۷ (با ضریب تغییرات ۱۰/۳ درصد) و ۷/۱ (با ضریب تغییرات ۵/۲ درصد) روز بودند. در این آزمایش فراسنجه‌های دماهای کاردینال، طول روز بحرانی، ضریب حساسیت به طول روز و روز زیستی با دقت قابل قبولی برای ارقام گندم در استان گلستان برآورد شدند.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، دمای کاردینال، روز زیستی، طول روز بحرانی و گندم.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳ این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می باشد.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۵- دانشجوی دکترای دانشگاه علوم کشاوزی و منابع طبیعی گرگان (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: a.nehbandai@yahoo.com)

مقدمه

فنولوژی علم مطالعه پیشرفت مراحل نمو گیاه در ارتباط با عوامل محیطی و تاثیر عوامل محیطی بر آن است. پیش‌بینی نمو فنولوژیک اهمیت زیادی در مدل‌سازی گیاهان زراعی دارد، زیرا تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی تحت تاثیر زمان وقوع مراحل فنولوژیک می‌باشند (Soltani, 2011). مدل‌های گیاهی در نحوه مدیریت مزرعه بسیار سودمند هستند. از مهم‌ترین کاربردهای مدل‌های گیاهی می‌توان به مواردی از قبیل کمک به مدیریت دقیق مزرعه و پیش‌بینی عملکرد اشاره کرد (Soltani, 2009).

گندم از اصلی‌ترین محصولات زراعی دنیا است و در ایران نیز گیاه زراعی اصلی محسوب شده و نقش چشمگیری در تغذیه مردم دارد. با توجه به اهمیت و نقش گندم در نظام‌های زراعی کشور، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌تواند نقش زیادی در افزایش تولید آن داشته باشد. نمو فنولوژیک گندم از سبزشدن تا ساقه رفتن به دما، طول روز و بهاره‌سازی واکنش نشان می‌دهد و سایر مراحل نمو فنولوژیک فقط تحت تاثیر دما می‌باشند (Ritchie, 1991). این عوامل در مدل‌های شبیه‌سازی گندم توسط توابع دما f(T)، طول روز f(P) و بهاره سازی f(V) نشان داده می‌شوند (Streck *et al.*, 2003). وانگ و انگل (Wang and Engel, 1998) در مدل پیشنهادی خود برای پیش‌بینی مراحل نموی گندم از تابع بتا برای دما، از تابع نمایی منفی برای طول روز و از تابع خطی سه تکه‌ای برای بهاره سازی استفاده کردند. اسلافر و راوسون (Slafer and Rawson, 1996) اثر دما و طول روز را بر نمو چهار ژنوتیپ گندم مورد بررسی قراردادند. آن‌ها نشان دادند که سرعت نمو در همه مراحل نمو به وسیله طول روز، دما و اثرات متقابل آن‌ها تغییر می‌کند. آن‌ها اظهار داشتند اگرچه میان ارقام از نظر طول روز مطلوب اختلاف وجود داشت، اما بدون توجه به مراحل نمو، طول روز مطلوب (طول روزی که در پایین‌تر از آن سرعت نمو شروع به کاهش می‌کند)، در دماهای بالاتر، همواره طولانی‌تر بود.

مدل SSM-Wheat سلطانی و سینکلر (Soltani and Sinclair, 2012) یک مدل ساده برای گندم می‌باشد که با کمک آن می‌توان تولید این گیاه و محدودیت‌های ژنتیکی، محیطی و مدیریتی در تولید آن را تجزیه و تحلیل کرد. این مدل برای گندم، با اعمال تغییرات ساده، قابلیت استفاده و تعمیم برای سایر گیاهان زراعی دانه‌دار را دارد. این مدل دارای کد باز بوده و چون دارای ساختار ساده‌ای است، برای اهداف آموزشی نیز قابل استفاده است. از آن‌جایی که مدل از صفحات برنامه اکسل شرکت مایکروسافت برای ورودی و خروجی استفاده می‌کند، کار با آن ساده است (Soltani, 2011). در این مدل روش کمّی‌سازی پیش‌بینی نمو فنولوژیکی در گندم به عنوان تابعی از دما، طول روز و بهاره‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مراحل مهم فنولوژیک که برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و عملکرد در گندم نیاز است، به شرح زیر هستند: سبز شدن، پنجه‌زنی، ساقه رفتن، آبستنی، سنبله رفتن، گرده‌افشانی، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت (Soltani and Sinclair, 2012). در این مدل می‌توان واحد دمایی تجمعی مورد نیاز برای یک مرحله را بر حسب تعداد روزهای تقویمی مورد نیاز برای یک مرحله فنولوژیک (BD) بیان کرد که اصطلاحاً به آن روز زیستی (روز بیولوژیک) مورد نیاز اطلاق می‌شود.

مقادیر فراسنجه‌های مورد استفاده در زیر مدل فنولوژی در مدل SSM-Wheat شامل دماهای کاردینال، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز فقط برای تعداد محدودی از ارقام گندم استان گلستان محاسبه شده‌اند، بنابراین آزمایش حاضر به منظور محاسبه فراسنجه‌های مورد نیاز زیرمدل فنولوژی در مدل SSM-Wheat و تعیین روز زیستی ژنوتیپ‌های

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]

جدید گندم در استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ۱۲ تاریخ کاشت طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲در مزرعه تحقیقاتی- آموزشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا اجرا شد. تاریخ‌های کاشت ۱۴ آذر، ۱۹ دی، ۱۹ بهمن و ۲۰ اسفند ۱۳۹۱ و ۱۸ فروردین، ۱۸ اردیبهشت، ۲۰ خرداد، ۱۴ تیر، ۲۵ مرداد، ۱۹ شهریور، ۲۰ مهر و ۱۵ آبان ۱۳۹۲ بودند. برای هر تاریخ کاشت آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد که بلوک آن شامل هشت ژنوتیپ گندم بهاره مروارید، تجن، کوهدشت، دریا، گنبد، آرتا، N-87-20 و N-87-19 بودند. کلیه ژنوتیپ‌های گندم به‌جز رقم کوهدشت که به صورت دیم کاشته می‌شود، آبی هستند. در تاریخ کاشت ۱۴ تیر ۹۲ و ۲۰ مهر ۹۲ احتمالا به دلیل گرمای زیاد و سرمای بیش از حد، نمو بوته‌ها تکمیل نشد و به همین دلیل در این موارد تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تعداد مراحل نموی ثبت‌شده در تاریخ کاشت‌های ۱۴ تیر ۹۲ و ۲۰ مهر ۹۲ صورت گرفت. در این آزمایش به منظور ثبت مراحل نمو، در هر تاریخ کاشت از هر کرت فرعی ۱۰ بوته به عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک به صورت تصادفی انتخاب شد. ثبت مراحل فنولوژیک با استفاده از مقیاس زادوکس به طور میانگین هر سه روز یک‌بار و در ماه‌های گرم سال هر روز انجام شد و زمان لازم برای رسیدن مراحل نمو اصلی شامل سبز شدن، پنجه‌زنی، ساقه رفتن، شروع آبستنی، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت ثبت شدند. مراحل کلیدی فنولوژیک که برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و عملکرد در گندم نیاز است شامل سبز شدن، پنجه‌زنی، ساقه رفتن، آبستنی، سنبله‌دهی، گرده‌افشانی، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت هستند (Soltani and Sinclair, 2012).

در مدل SSM-Wheat از مفهوم روز زیستی (Biological day) برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک استفاده می‌شود. یک روز زیستی عبارت است از یک روز تقویمی است که در آن شرایط دما و طول روز برای وقوع حداکثر نمو مطلوب باشند. بدین ترتیب، روز زیستی مورد نیاز از یک مرحله به مرحله دیگر کمترین تعداد روز ممکن بین این دو مرحله را نشان می‌دهد. برای محاسبه تعداد روزهای زیستی از رابطه زیر استفاده شد (Soltani, 2009):

$$CBD = \sum_{i=1}^{n}(f(T).f(PP).f(V)) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

CBD: تعداد روز زیستی تجمعی برای مرحله نموی مورد نظر، f(T): عامل دما، f(PP): عامل طول روز، f(V): تابع بهاره‌سازی و n: تعداد روزهای تقویمی از یک مرحله نموی تا مرحله دیگر هستند. تغییرات توابع *f(T)*، *f(PP)* و *f(V)* بین صفر تا یک است. وقتی جمع روزهای زیستی برای یک مرحله فنولوژیک به مقدار معین برای آن مرحله برسد، آن مرحله رخ خواهد داد. نمو فنولوژیک گندم از سبزشدن تا ساقه‌رفتن به دما، طول روز و بهاره‌سازی واکنش می‌دهد و سایر مراحل نمو فنولوژیک فقط تحت تأثیر دما می‌باشند. در مدل مربوط به کمّی‌سازی سرعت نمو به دما از تابع بتا (Beta function) استفاده می‌شود (Soltani, 2009).

$$f(T) = \frac{[\frac{Tc-T}{Tc-Tp}\times\frac{T-Tb}{Tp-Tb}]^{\frac{Tp-Tb}{Tc-Tp}}}{fo} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

T: دما، T_b: دمای پایه، T_P: دمای مطلوب، T_C: دمای سقف (بر حسب درجه سانتی‌گراد) و f_o: روز زیستی هستند.

در مدل مربوط به کمّی‌سازی سرعت نمو به طول روز از تابع درجه دوم استفاده می‌شود (Soltani, 2009).

$$f(PP) = [1-PPsen\times(CPP-PP)^2] \quad \text{(رابطه ۳)}$$

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]

PP: طول روز بر (حسب ساعت در روز)، CPP: طول روز بحرانی (طول روزی که در کمتر از آن سرعت نمو رو به کاهش می‌گذارد) و ppsen: ضریب حساسیت طول روز هستند. طول روز بر مبنای عرض جغرافیایی محل، روز سال و لحاظ کردن طلوع و غروب خورشید از ۶- درجه زیر افق محاسبه می‌شود (Soltani, 2009).

در مدل مربوط به کمّی‌سازی سرعت نمو به بهاره‌سازی از تابع دوتکه‌ای (Segmented function) استفاده می‌شود (Soltani, 2009).

(رابطه ۴)

$$
\begin{aligned}
f(V) &= 0 && \text{if} \quad TMP \le TBV \\
&= (TMP - TBV) / (TP1V - TBV) && \text{if} \quad TBV < TMP < TP1V \\
&= 1 && \text{if} \quad TP1V \le TMP \le TP2V \\
&= (TCV - TMP) / (TCV - TP2V) && \text{if} \quad TP2V < TMP < TCV \\
&= 0 && \text{if} \quad TMP \ge TCV
\end{aligned}
$$

TMP: میانگین دمای روزانه، TBV: دمای پایه بهاره‌سازی، TP1V: دمای مطلوب تحتانی بهاره‌سازی، TP2V: دمای مطلوب فوقانی بهاره‌سازی و TCV: دمای سقف بهاره‌سازی می‌باشند. میزان *f(V)* زمانی به یک می‌رسد که گیاه برای مدت یک روز در دمای مطلوب برای بهاره‌سازی قرار گیرد. در گندم، دماهای کمتر از ۱- (TBV) و بیشتر از ۱۲ (TCV) درجه سانتی‌گراد در بهاره‌سازی موثر نیستند و دمای بین صفر (TP1V) تا ۸ (TP2V) درجه سانتی‌گراد، بیشترین تأثیر را دارند و با کاهش دما از صفر تا ۱- یا افزایش دما از ۸ به ۱۲ درجه سانتی‌گراد، تأثیر بهاره‌سازی کاهش یافته تا به صفر برسد (Soltani, 2009).

برای محاسبه تعداد روز زیستی با استفاده از رابطه ۱ از داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دما و طول روز استفاده شد. با توجه به بهاره بودن ارقام گندم، *f* (V) مساوی یک فرض شد (Mirdavardost, 2007; Soltani and Maddah, 2013; Soltani *et al*., 2013). حاصل‌ضرب مقدار عامل دما و طول روز برای هر روز محاسبه و سپس برای روزهای بین دو مرحله نموی باهم جمع شده و به عنوان تعداد روز زیستی برای آن مرحله در نظر گرفته شدند. برای مراحل غیر حساس به طول روز، مقدار عامل حساسیت به طول روز، *f*(PP) برابر یک در نظر گرفته شد.

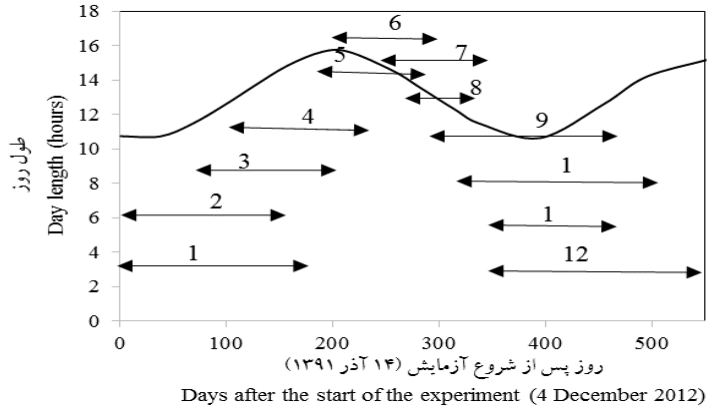
به صورت قراردادی، ارزیابی مدل از طریق مقایسه خروجی‌های شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با داده‌های جمع‌آوری‌شده واقعی صورت می‌گیرد. بعد از برآورد فراسنجه‌های گیاهی مدلSSM، برای داده‌هایی که با استفاده از آن‌ها برآورد فراسنجه‌ها انجام شده بود، شبیه‌سازی صورت گرفت و خروجی مدل با نقاط مشاهده شده مقایسه شدند. هدف از این بخش این است که مشخص شود پیش بینی‌های مدل تا چه حد با اندازه‌گیری‌ها انطباق دارند. چنانچه پیش بینی‌ها بر اساس معیارهای از قبل تعریف شده همخوانی قابل قبولی با اندازه‌گیری‌ها داشته باشند، نشان‌دهنده صحت برآورد فراسنجه‌ها است. برای ارزیابی مدل، روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی مشاهده‌شده با مقادیر شبیه‌سازی توسط مدل مقایسه شدند. برای آزمون نتایج مدل از شاخص‌های ارزیابی، جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و میزان انحراف نتایج پیش‌بینی از خط ۱:۱ و خطوط ۱۸± درصد استفاده شدند (Soltani, 2007). پس از جمع‌آوری و مرتب کردن داده‌ها، برازش توابع با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و جهت رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]

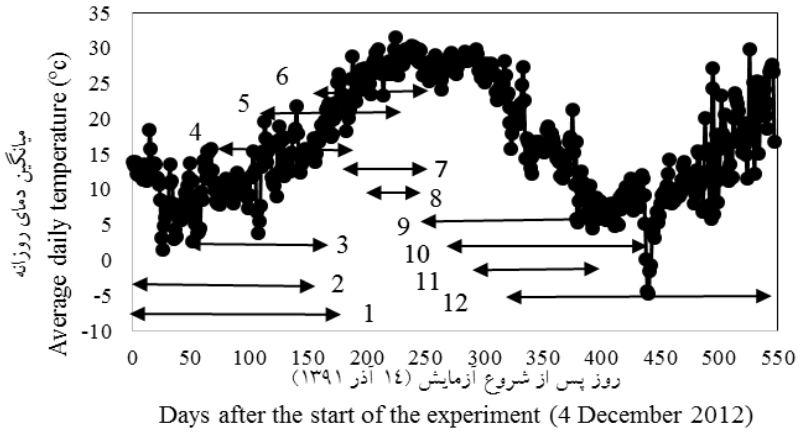
نتایج و بحث

تغییرات دما و طول روز در طول دوره آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. دمای حداکثر از ۲/۴- تا ۴۲/۴ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل از ۷- تا ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. طول روز نیز در طی دوره آزمایش از ۱۰/۶۵ تا ۱۵/۶۸ ساعت تغییر داشت. در تاریخ کاشت ۱۴ تیر ۱۳۹۲ در مرحله گرده‌افشانی، به‌دلیل مواجه شدن با گرمای زیاد، باروری و تلقیح در ارقام گندم مختل شده و ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و برداشت نرسیدند و در تاریخ کاشت ۲۱ مهر ۱۳۹۲ به دلیل سرمای زیاد در مرحله سنبله‌دهی، رشد بوته‌ها تکمیل نشد و تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس مراحل ثبت شده موجود در تاریخ کاشت ۱۴ تیر ۱۳۹۲ و ۲۱ مهر ۱۳۹۲ انجام گرفت.

الف (a)



ب (b)



شکل ۱- تغییرات طول روز (الف) و دمای روزانه (ب) در طول آزمایش. (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۴ آذر ۱۳۹۱، ۱۹ دی ۱۳۹۱، ۱۹ بهمن ۱۳۹۱، ۲۰ اسفند ۱۳۹۱، ۱۸ فروردین ۱۳۹۲، ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۲، ۲۰ خرداد ۱۳۹۲، ۱۴ تیر ۱۳۹۲، ۲۵ مرداد ۱۳۹۲، ۱۹ شهریور ۱۳۹۲، ۲۱ مهر ۱۳۹۲ و ۱۵ آبان ۱۳۹۲ هستند. محدوده مشخص‌شده توسط هر پیکان نشان دهنده طول دوره رویش هر یک از تاریخ کاشت‌ها است.

Fig. 1. Day length (a) and daily temperature (b) changes during Experiment. (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 and 12 represent planting date 4 December 2012, 8 January 2013, 7 February 2013, 10 March 2013, 7 April 2013, 8 May 2013, 10 June 2013, 5 July 2013, 16 August 2013, 10 September 2013, 13 October 2013and 6 November 2013, respectively. Range specified by each arrow indicates the growth duration at each planting date

حداقل، حداکثر و میانگین طول مراحل مختلف نمو در ارقام و تاریخ‌های کاشت در جدول ۱ نشان داده شده است. حداقل و حداکثر تعداد روز از کاشت تا سبز شدن به ترتیب ۴ و ۲۷ روز، از سبزشدن تا پنجه‌زنی به‌ترتیب ۱۱ و ۴۱ روز، از پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن ۴ تا ۸۰ روز، از ساقه‌رفتن تا آبستنی ۳ تا ۲۲ روز، از آبستنی تا سنبله‌رفتن ۲ تا ۱۶ روز، از سنبله‌رفتن تا گرده‌افشانی ۳ تا ۳۸ روز، از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک ۱۵ تا ۸۴ روز و از رسیدگی فیزیولوژیک تا رسیدگی برداشت ۲ تا ۱۶ روز بود.

جدول ۱- حداقل، حداکثر و میانگین طول مراحل نمو ارقام گندم در تاریخ‌های کاشت

Table 1. Minimum, maximum and average development duration of wheat cultivars in planting dates

مراحل نمو Development stages		روز از کاشت تا سبزشدن Days from planting to emergence	روز از سبزشدن تا پنجه‌زنی Days from emergence to tillering	روز از پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن Days from tillering to stem elongation	روز از ساقه‌رفتن تا آبستنی Day from stem elongation to booting	روز از آبستنی تا سنبله‌رفتن Day from booting to heading	روز از سنبله‌رفتن تا گرده‌افشانی Days from heading to anthesis	روز از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک Days from anthesis to physiological maturity	روز از رسیدگی فیزیولوژیک تا رسیدگی برداشت Date from physiological maturity to maturity harvest
Average	میانگین	11.1	23.8	27.2	8.5	5.3	9.1	35.0	5.3
Maximum	حداکثر	27	41	80	22	16	38	84	16
Minimum	حداقل	4	11	4	3	2	3	15	2

آماره‌های مربوط به مدل بتا توصیف‌کننده رابطه سرعت سبز شدن گیاهچه با دما در ارقام گندم در جدول ۲ نشان داده شده است. مدل بتا ۷۸ تا ۸۳ درصد از تغییرات سرعت سبز شدن گیاهچه در مقابل دما را برای ارقام گندم توجیه کرد و مقدار RMSE برای این مدل بین ۲/۲۷ تا ۲/۹۰ روز متغیر بود. محاسبه ضرایب a و b (ضرایب رگرسیونی ساده خطی (y=a+bx)) بین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده (x) در برابر تعداد روز از کاشت تا سبز شدن پیش‌بینی شده (y) نشان داد که هیچ کدام از این ضرایب در این مدل معنی‌دار نشدند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که قابلیت پیش‌بینی این مدل قابل قبول می‌باشد. این موضوع با نتایج یین و همکاران (Yin *et al.*, 1995)، جیم و کاتفورث (Jame and Cutforth, 2004)، سلطانی و مداح (Soltani and Maddah, 2013) و سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2013) مشابه بود، ولی با نتایج عجم نوروزی و سلطانی (Ajam Norouzi and Soltani, 2008) در باقلا، ترابی (Torabi, 2004) در نخود، اولسن و همکاران (Olsen *et al.*, 1993) در ذرت، رابرتسون و همکاران (Robertson *et al.*, 2002) در گندم مغایرت داشت. احمدی (Ahmadi, 2007) تابع لجستیک را به عنوان تابع برتر برای کمّی‌سازی سرعت سبز شدن گیاهچه در ارقام گندم معرفی کرد و الیس و همکاران (Ellis *et al.*, 1988) از یک تابع دوتکه‌ای جهت تعیین دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی نخود استفاده کردند. البته از منحنی‌های واکنش دمایی دیگر نیز جهت توصیف اثر دما بر رشد و نمو گیاهان استفاده شده است. سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2006) مدل دندانه‌ای را مناسب‌ترین مدل‌ها برای توصیف واکنش سبزشدن نخود به دما معرفی کردند.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]

جدول ۲- برآورد ضریب تغییرات (CV)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R2) و ضریب همبستگی (r) برای مدل بتا در ارقام گندم. R2 مربوط به رابطه بین سرعت سبز شدن گیاهچه با دما می‌باشد و r مربوط به رابطه روز تا سبز شدن گیاهچه مشاهده شده و پیش‌بینی شده است

Table 2. Estimation of coefficient of variation (CV), root mean square of error (RMSE), coefficient of determination (R^2) and correlation coefficient (r) for Beta model of wheat cultivars. R^2 is relationship between seedling emergence rate and temperature and r is relationship between observed and predicted days to seedling emergence

ارقام گندم Wheat cultivars	N	CV (%)	RMSE	R^2	r	a±se	b±se
Morvarid	48	21.06	2.27	0.83	0.91	1.45±0.68	0.83±0.05
Tajan	48	21.36	2.46	0.82	0.90	1.48±0.76	0.83±0.05
Koohdasht	48	24.38	2.90	0.80	0.89	0.63±0.91	0.92±0.06
Darya	48	23.94	2.84	0.78	0.88	1.26±0.91	0.86±0.06
Gonbad	48	23.77	2.76	0.81	0.90	0.96±0.84	0.89±0.06
N-87-20	48	24.82	2.86	0.82	0.90	0.18±0.86	0.98±0.06
Arta	48	22.05	2.70	0.82	0.90	1.17±0.84	0.88±0.05
N-87-19	48	24.33	2.86	0.81	0.89	0.70±0.88	0.92±0.06
Total data	384	23.04	2.68	0.81	0.81	0.96±0.29	0.89±0.02

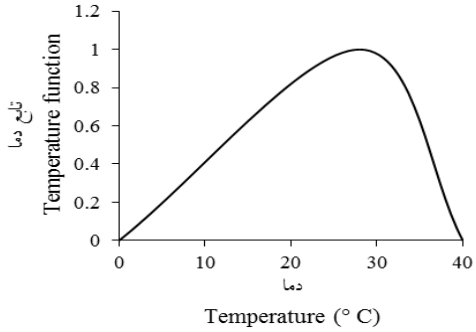
جدول ۳- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای تابع بتا- درجه دوم توصیف‌کننده رابطه سرعت نمو تا ساقه‌رفتن با دما و طول روز در ارقام گندم. R^2 مربوط به رابطه بین سرعت ساقه‌رفتن با دما و طول روز و ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه بین روز تا ساقه‌رفتن مشاهده شده و پیش‌بینی شده است

Table 3. Root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R^2) for beta-quadratic function describing the relationship between development rates toward stem elongation with temperature and photoperiod of wheat cultivars. R^2 is relationship between stem elongation rate with temperature and photoperiod and r is relationship between observed and predicted stem elongation

Wheat cultivars	ارقام گندم	N	CV (%)	RMSE	R^2	r	a±se	b±se
Morvarid	مروارید	48	5.07	2.56	0.99	0.99	0.89±0.84	1.00±0.01
Tajan	تجن	48	8.43	4.22	0.96	0.98	3.96±1.39*	0.91±0.02
Koohdasht	کوهدشت	48	6.96	2.70	0.98	0.99	-4.56±1.72	1.10±0.03
Darya	دریا	44	9.86	5.01	0.97	0.98	-2.47±1.60	1.05±0.02
Gonbad	گنبد	48	6.78	3.26	0.98	0.99	-4.25±1.76	1.10±0.03
N-87-20	N-87-20	48	8.62	4.26	0.97	0.98	-1.00±1.31	1.00±0.02
Arta	آرتا	48	11.32	5.96	0.95	0.97	-6.21±2.15*	1.06±0.03
N-87-19	N-87-19	48	7.13	3.92	0.98	0.99	-3.21±1.88	0.85±0.03
Total data	کل داده ها	380	12.47	6.32	0.94	0.97	0.79±0.72	1.00±0.01

*: دارای تفاوت معنی‌دار با صفر برای a و ۱ برای b (در سطح احتمال یک درصد)

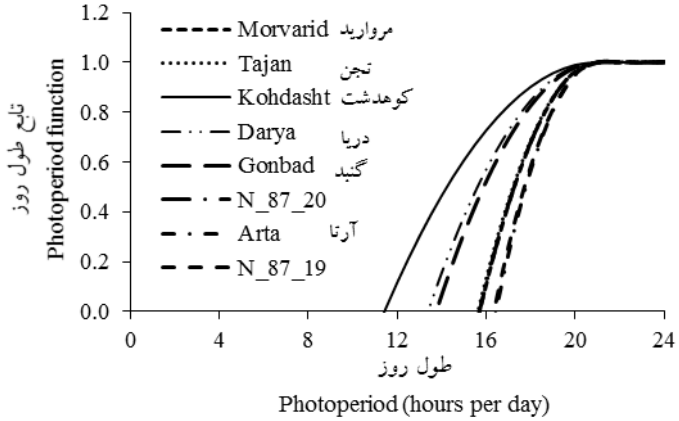
*: Significant difference from 0 for a and significant difference from 1 for b ($P < 0.01$)



شکل۲- تابع بتا برای توصیف واکنش سرعت نمو به دما (منحنی با برآورد فراسنجه‌های ارقام گندم رسم شده است)

Fig. 2. The beta function for description the development rate to temperature (the curve was plotted with parameters estimation of wheat cultivars)

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]



شکل۳- تابع بتا- درجه دوم برای توصیف واکنش سرعت نمو به طول روز
(منحنی‌ها با برآورد فراسنجه‌های ارقام گندم رسم شده‌اند)

Fig. 3. Beta-quadratic Function for describe response development rate to photoperiod
(the curves were plotted with parameter estimation of wheat cultivars)

بر اساس تحقیقات صورت گرفته روی دماهای کاردینال ارقام گندم در استان گلستان (Mirdavardost, 2007; Soltani and Maddah, 2013; Soltani *et al*., 2013)، دماهای کاردینال شامل دمای پایه، مطلوب و سقف در اعداد صفر، ۲۸ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شده در مدل ثابت شدند. هم‌چنین طول روز بحرانی در این مدل در ۲۱ ساعت ثابت و ضریب حساسیت به طول روز و روز زیستی از سبزشدن تا ساقه رفتن در ارقام گندم محاسبه شد (Soltani and Maddah, 2013; Soltani *et al*., 2013). در مدل SSM-Wheat با توجه به مطالعات انجام شده (Mirdavardost, 2007; Soltani and Maddah, 2013; Soltani *et al*., 2013) برای روزهای قبل از سبز شدن و بعد از مرحله ساقه‌رفتن که گندم به طول روز حساس نیست، مقدار تابع طول روز یک در نظر گرفته شد.

جدول ۴- برآورد تعداد روز زیستی مورد نیاز از کاشت تا سبزشدن، سبزشدن تا پنجه‌زنی، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن، ساقه‌رفتن تا آبستنی، آبستنی تا سنبله‌رفتن، سنبله‌رفتن تا گرده‌افشانی، گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی فیزیولوژیک تا برداشت در ارقام گندم

Table 4. Estimation of biological days from planting to emergence (VE), emergence to tillering (TL), tillering to stem elongation (SE), stem elongation to booting (BT), booting to heading (SPE), heading to anthesis (AN), anthesis to physiological maturity (PM) and physiological maturity to harvest maturity (HM) of wheat cultivars

Wheat cultivars	ارقام گندم	VE	TL	SE	BT	SPE	AN	PM	HM
Morvarid	مروارید	7.9a	7.9 cd	8.9a	5.7ba	3.4a	6.9a	22.5ba	6.3a
Tajan	تجن	6.2a	7.8ed	9.2a	5.5ba	3.5a	6.6a	22.4ba	6.9a
Kohdasht	کوهدشت	6.2a	9.9a	9.5a	4.7b	3.7a	6.9a	24.5a	6.8a
Darya	دریا	6.4a	8.8a	10.4a	5.1ba	3.6a	5.7a	24.8a	7.0a
Gonbad	گنبد	6.2a	8.7cb	9.8a	5.9a	3.6a	7.0a	23.8a	6.7a
N-87-20	N-87-20	6.0a	8.5cbd	9.8a	5.2ba	3.3a	6.1a	24.4a	7.1a
Arta	آرتا	6.6a	6.5cbd	9.7a	4.7b	3.3a	5.8a	22.0ba	6.6a
N-87-19	N-87-19	6.2a	7.0fe	9.4a	5.2b	3.2a	6.8a	21.1b	7.1a
Total data	کل داده ها	6.2^{ns}	*8.1	9.6^{ns}	5.2*	3.4^{ns}	6.5^{ns}	23.2*	6.8^{ns}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. ns: غیرمعنی‌دار
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test. ns: not significant

بر اساس جدول ۴ روز زیستی بین ارقام گندم از نظر مراحل فنولوژیک از کاشت تا سبزشدن، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن، آبستنی تا سنبله‌رفتن، سنبله‌رفتن تا گرده‌افشانی و از رسیدگی فیزیولوژیک تا رسیدگی برداشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی در مراحل سبزشدن تا پنجه‌زنی، ساقه‌رفتن تا آبستنی و گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک از نظر تعداد روز زیستی ارقام اختلاف معنی‌داری وجود داشت. تعداد روز زیستی ارقام گندم در مراحل مختلف نمو به شرح جدول ۵ است: ۱- از سبزشدن تا پنجه‌زنی: ۶/۵ تا ۹/۹ روز زیستی، ۲-از ساقه‌رفتن تا آبستنی: ۴/۷ تا ۵/۷ روز زیستی و ۳-از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک: ۲۱/۱ تا ۲۴/۸ روز زیستی.

در جدول ۵ تعداد روز زیستی مورد نیاز ارقام گندم موجود در مدل SSM-wheat که در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته‌اند و نتایج آنها توسط سلطانی و سینکلر (Soltani and Sinclair, 2012) و سلطانی و همکاران (Soltani *et al*., 2013) گزارش شده، جهت مقایسه با نتایج حاصل از این پژوهش ارائه شده است.

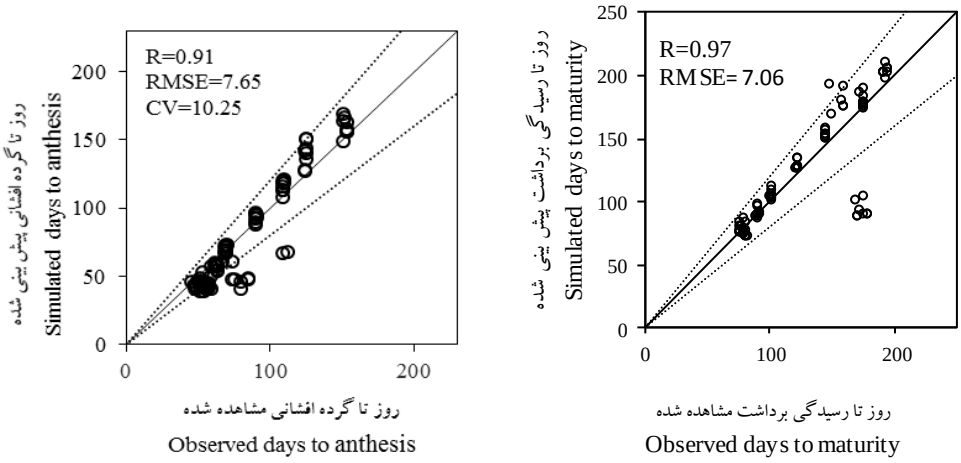
جدول ۵- تعداد روز زیستی مورد نیاز از کاشت تا سبزشدن، سبزشدن تا پنجه‌زنی، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن، ساقه‌رفتن تا آبستنی، آبستنی تا سنبله‌رفتن، سنبله‌رفتن تا گرده‌افشانی، گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک در چهار رقم گندم در مدل SSM-wheat (Soltani and Sinclair, 2012)

Table 5. The number of biological day to require from planting to emergence (VE), emergence to tillering (TL), tillering to stem elongation (SE), stem elongation to booting (BT), booting to heading (SPE), heading to anthesis (AN) and anthesis to physiological maturity (PM) in SSM-wheat model in four wheat cultivars

Wheat cultivars	ارقام گندم	VE	TL	SE	BT	SPE	AN	PM
Zagros	زاگرس	4	5.5	8.04	7	2	7	34
Tajan	تجن	4	5.5	12.67	6	2	8	34
Kohdasht	کوهدشت	4	5.5	8.71	6	2	9	33
Shirodi	شیرودی	4	5.5	8.71	6	2	9	33

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی (گرده‌افشانی و رسیدگی) برای ارقام گندم مورد مطالعه نشان داد که مدل SSM با دقت خوبی این مراحل را شبیه‌سازی نموده است، به‌طوری‌که نتایج حاصل از ارزیابی فنولوژی مدل نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی به‌ترتیب ۷/۶۵ و ۷/۰۶ روز است که حدود ۱۰ درصد میانگین روز تا گرده‌افشانی مشاهده شده و حدود ۵ درصد میانگین روز تا رسیدگی مشاهده شده هستند، بعبارت دیگر ضریب تغییرات (CV) بین روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده به‌ترتیب ۱۰/۲۵ و ۵/۱۷ درصد بودند که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی ارقام گندم است. همبستگی بالای فنولوژی شبیه‌سازی شده با فنولوژی مشاهده شده نیز نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی فنولوژی موفق بوده است (شکل ۴). در تاریخ کاشت ۲۵ مرداد ۱۳۹۲ در ارقام مروارید، تجن، گنبد، آرتا و N-87-19 و در تاریخ کاشت ۱۹ شهریور ۱۳۹۲ در رقم آرتا و N-87-19 ، مقادیر روز تا گرده‌افشانی مشاهده شده در مقابل روز تا گرده‌افشانی پیش‌بینی شده خارج از محدوده خط ۱۸± درصد قرار داشتند. در تاریخ کاشت ۲۵ مرداد ۱۳۹۲ در کلیه ارقام گندم مقادیر روز تا رسیدگی برداشت مشاهده شده در مقابل روز تا رسیدگی برداشت پیش‌بینی شده، خارج از محدوده خط ۱۸± درصد قرار داشتند. دلیل اصلی این موضوع روشن نیست، اما شاید دلیل این موضوع خارج بودن این تاریخ‌های کاشت از محدوده تاریخ کاشت مرسوم منطقه (آبان تا دی) باشد.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]
[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]



شکل۴- مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده روز تا گرده افشانی و رسیدگی برداشت در ارقام گندم. دامنه ۱۸ درصد تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده توسط خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است

Fig. 4. Simulated and observed days to anthesis and maturity of wheat cultivars. Range if 18% of discrepancy between simulated and measured has shown by dashed lines. Solid line is 1:1 line

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام گندم از نظر دمای پایه و دمای مطلوب بر پایه تابع بتا- درجه دوم وجود نداشت، ولی ارقام از نظر تعداد روز زیستی و ضریب حساسیت به طول روز دارای اختلاف بودند، بنابراین در مدل SSM-Wheat دماهای کاردینال شامل دمای پایه، مطلوب و سقف برای کلیه ارقام به ترتیب صفر، ۲۸ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. طول روز بحرانی در این مدل ۲۱ ساعت بدست آمد. ضریب حساسیت به طول روز برای ارقام گندم بین ۰/۰۰۲۷۲ تا ۰/۰۰۶۹۱ تعیین شد. اثر بهاره سازی در محاسبه تعداد روز زیستی لحاظ نشد. ارقام گندم از نظر مراحل کاشت تا سبز شدن (۶/۲ روز زیستی)، پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن (۷/۹ روز زیستی)، آبستنی تا سنبله‌رفتن (۳/۴ روز زیستی)، سنبله رفتن تا گرده‌افشانی (۶/۴ روز زیستی) و رسیدگی فیزیولوژیک تا رسیدگی برداشت (۶/۸ روز زیستی) تفاوت معنی‌داری نداشتند، با این حال ارقام در مراحل سبزشدن تا پنجه‌زنی (۶/۵ تا ۹/۹ روز زیستی)، ساقه‌رفتن تا آبستنی (۴/۷ تا ۵/۹ روز زیستی) و گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک (۲۱/۱ تا ۲۴/۸ روز زیستی) دارای اختلاف معنی‌دار بودند. در این تحقیق فراسنجه‌های فنولوژی در مدل SSM-Wheat محاسبه شدند و برای بررسی دقیق‌تر، نیاز به ارزیابی با داده‌های مستقل وجود دارد. نتایج نشان داد که نمو ارقام گندم مورد ارزیابی به بهاره سازی تقریبا غیرحساس بود، ولی اثبات این موضوع نیاز به تحقیقات بیشتر، به ویژه در ارقام زمستانه، دارد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از سردبیر محترم نشریه علوم زراعی ایران و داوران محترم ناشناس که در فرآیند داوری، مقاله را به دقت مورد بررسی قرار دادند و پیشنهادهای خوبی در راستای ارتقای کیفی مقاله ارائه نمودند، تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده References

Ahmadi, M. 2007. Simulation of phenological development of wheat. MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian with Persian abstract).

Ajam Norouzi, H. and A. Soltani. 2008. Prediction of flowering occurrence in faba bean (*Vicia faba* L.). J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15(5): 65-77. (In Persian with English abstract).

Angus, J., R. Cunningham, M. Moncur and D. Mackenzie. 1980. Phasic development in field crops I. Thermal response in the seedling phase**.** Field Crops Res. 3: 365-378.

Ellis, R., E. Roberts and R. Summerfield. 1988. Variation in the optimum temperature for rates of seedling emergence and progress towards flowering amongst six genotypes of faba bean (*Vicia faba*). Annal. Bot. 62: 119-126.

Jame, Y. and H. Cutforth. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agric. Forest Meteorol. 124: 207-218.

Mirdavardost, F. 2007. Quantifying of spring in the number of Iranian wheat. MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Olsen, J., C. McMahon and G. Hammer. 1993. Prediction of sweet corn phenology in subtropical environments. Agron. J. 85: 410-415.

Piper, E. L., K. J. Boote, J. W. Jones and S. S. Grimm. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Sci. 36: 1606-1614.

Ritchie, J. T. 1991. Wheat phasic development. *In:* Hanks, R. J. and Ritchie, J. T. (Eds.), modeling plant and soil systems. Agron. Monograph. 31. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 31 -54.

Roberts, E., R. Summerfield, F. Minchin and P. Hadley. 1980. Phenology of chickpeas (*Cicer arietinum*) in contrasting aerial environments. Exp. Agric. 16: 343-360.

Robertson, G. W. 1968. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. Int. J. Biometeorol. 12: 191-223.

Robertson, M., I. Brooking and J. Ritchie. 2002. Temperature response of vernalization in wheat: modelling the effect on the final number of main stem leaves. Annal. Bot. 78: 371-381.

Slafer, G. A. and H. Rawson. 1996. Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. Field Crops Res. 46: 1-13.

Soltani, A. 2009. Application of SAS in statistical analysis. (2nd Ed.) JDM Press, Mashhad, Iran. pp 182. (In Persian).

Soltani, A. 2009. Mathematical Modeling in Filed Crops. JDM Press, Mashhad, Iran. pp 175. (In Persian).

Soltani, A. 2011. Modeling development growth and yield in wheat. Sabbatical Leave Report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Soltani, A. and V. Maddah. 2013. Simulate the growth of wheat with SSM model in environmental conditions in Golestan. Sabbatical Leave Report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]

[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]

Soltani, A. and T. R. Sinclair. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CAB International, Wallingford, UK.

Soltani, A., G. L. Hammer, B. Torabi, M. J. Robertson and E. Zeinali. 2006. Modeling chickpea growth and development: phonological development. Field Crops Res. 99: 1-13

Soltani, A., V. Maddah and T. R. Sinclair. 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. Int. J. Plant Prod. 7(4): 711-740.

Streck, N. A., A. Weiss and P. S. Baenziger. 2003. A generalized vernalization response function for winter wheat. Agron. J. 95:155-159.

Torabi, B. 2004. Predict phenological development in pea plants. MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Wallace, D. 1985. Physiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. Plant Breed. Rev. 3: 21-47 .

Wang, E. and T. Engel. 1998. Simulation of phenological development of wheat crops. Agric. Sys. 58: 1-24.

Yin, X., M. J. Kropff, G. McLaren and R. M. Visperas. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agric. Forest Meteorol. 77: 1-16.

Yin, X., M. J. Kropff, H. Nakagawa, T. Horie and J. Goudriaan. 1997. A model for photothermal responses of flowering in rice II. Model evaluation. Field Crops Res. 51:201-211.

Estimation of phenological parameters in SSM-Wheat model for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Golestan province of Iran

Panahi, M. H.[1], A. Soltani[2], E. Zeinali[3], M. Kalateh Arabi[4] and A. R. Nehbandani[5]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.4.1.7]

[DOI: 10.29252/abj.21.4.302]

ABSTRACT

Panahi, M. H., A. Soltani, E. Zeinali, M. Kalateh Arabi and A. R. Nehbandani. 2020. Estimation of phenological parameters in SSM-Wheat model for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Golestan province of Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences. 21(4): 302-314. (In Persian).**

To estimate required parameters of phenology sub-model in SSM-Wheat model (cardinal temperatures, critical photoperiods and photoperiod sensitivity coefficient) and to determine of the biological day for eight bread wheat genotypes (Morvarid, Tajan, Kohdasht, Darya, Gonbad, Arta, N-87-20 and N-87-19) in Golestan province of Iran in 12 sowing dates, an experiment was carried out using randomized complete block design with four replications during 2012 and 2013 cropping cycles. Beta-quadratic model was used to explain the relation of stem elongation rate of the wheat genotypes in response to temperature and photoperiod. The bread wheat genotypes did not have significant differences in critical photoperiod and cardinal temperature. However, they were significantly differ for biological day and photoperiod sensitive coefficient. Therefore, cardinal temperatures including; base, optimum and ceiling temperatures were used in 0, 28 and 40 °C, respectively, for all of genotypes in the model. In addition, the critical photoperiod fixed on 21 hours in this model. Coefficient of sensitivity to photoperiod varied from0.00272 to 0.0091 for genotypes. The bread wheat genotypes did not show significant differences in terms of biological days (bd) in phenological stages including; sowing to emergence (6.2 bd), tillering to stem elongation (7.9 bd), booting to heading (3.4 bd), heading to anthesis (6.4 bd) and physiological maturity to harvest maturity (6.8 bd). However, significant differences observed in phenological stages emergence to tillering (6.5-8.8 bd), stem elongation to booting (4.7-5.9 bd) and anthesis to physiological maturity (21.1-24.8 bd) among genotypes. Model evaluation indicated that root mean square error for biological days to anthesis and days to physiological maturity was 7.7 (with coefficient of variation 10.3%) and 1.7 (with coefficient of variation 2.5%), respectively. Therefore, parameters of cardinal temperatures, critical photoperiods, photoperiod sensitivity coefficient and biological day were estimated reasonably for bread wheat genotypes of Golestan province.

Key words: Biological day, Cardinal temperature, Critical photoperiod, Sowing date and Wheat.

Received: February, 2017 Accepted: September, 2019

1. Former MSc Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Assistant Prof., Agriculturaland Natural Resources Research and Education Center of Golestan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran
5. PhD Student, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources Sciences, Gorgan, Iran (Corresponding author) (Email: a.nehbandai@yahoo.com)