

کمی سازی واکنش سبز شدن گیاهچه های ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) نسبت به دما در شرایط مزرعه Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions

سمیه لک زائی^۱، افشین سلطانی^۲، ابراهیم زینلی^۳، فرشید قادری فر^۴ و صفورا جعفرنوده^۵

چکیده

لک زائی، س.، ا. سلطانی، ا. زینلی، ف. قادری فر و ص. جعفرنوده. ۱۳۹۶. کمی سازی واکنش سبز شدن گیاهچه های ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) نسبت به دما در شرایط مزرعه. مجله علوم زراعی ایران. ۱۹ (۳): ۲۰۷-۱۹۵.

تعیین واکنش جوانه زنی بذر و سبز شدن گیاهان نسبت به دما و تعیین دماهای کاردینال (دماهای پایه، مطلوب و سقف) و تعداد روزهای بیولوژیک (کمترین تعداد روز برای جوانه زنی و سبز شدن در شرایط دما و رطوبت مطلوب) از اهمیت بالایی در تهیه مدل های شبیه سازی برخوردار است. تحقیق حاضر به منظور بررسی واکنش جوانه زنی و سبز شدن گیاهچه پنج رقم کلزا (زرغام، هایولا ۴۰۱، هایولا ۳۰۸، هایولا ۵۰ و آر.جی. اس. ۰۰۳) نسبت به دما در ۱۲ تاریخ کاشت (۱۷ آبان، ۱۸ آذر، ۱۷ دی، ۱۹ بهمن، ۱۵ اسفند ۱۳۹۲، ۱۸ فروردین، ۲۰ اردیبهشت، ۲۱ خرداد، ۱۰ تیر، ۱۸ مرداد، ۱۸ شهریور و ۱۷ مهر سال ۱۳۹۳) در شرایط اقلیمی گرگان در سال های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ با استفاده از سه مدل؛ بتا، دوتکه ای و دندانه ای انجام شد و برای انتخاب مدل برتر از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) بین روز تا سبز شدن مشاهده شده و روز تا سبز شدن پیش بینی شده استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل دوتکه ای نسبت به مدل های بتا و دندانه ای واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما را بهتر توصیف کرد. دماهای کاردینال ثبت شده با استفاده از مدل برتر برای دمای پایه، مطلوب و سقف به ترتیب ۳/۲، ۲۶/۸ و ۴۰ درجه سانتی گراد بودند. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ارقام کلزا در عمق دو سانتی متر، ۴/۵ روز محاسبه شد. نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی داری از نظر دماهای کاردینال و تعداد روز بیولوژیک بین ارقام کلزا وجود نداشت. بر اساس نتایج بدست آمده، برای کمی سازی واکنش سرعت سبز شدن کلزا به دما می توان از مدل دوتکه ای استفاده کرده و از این مدل و پارامترهای برآورد شده از آن در تهیه مدل های پیش بینی زمان سبز شدن ارقام کلزا در شرایط مختلف دمایی استفاده کرد.

واژه های کلیدی: دماهای کاردینال، روز بیولوژیک، ظهور گیاهچه، مدل دوتکه ای و کلزا.

مقدمه

در سال‌های اخیر کشت و کار گیاهان دانه روغنی از جمله کلزا (*Brassica napus* L.) به دلیل اهمیت آن‌ها در تأمین روغن مصرفی و جلوگیری از واردات بی‌رویه روغن و دانه‌های روغنی به کشور، مورد توجه قرار گرفته و سطح زیر کشت این گیاه به سرعت افزایش یافته است.

کشت موفقیت‌آمیز گیاهان زراعی به انتخاب زمان کاشت مناسب و استقرار مطلوب گیاهچه‌ها وابسته است. به منظور استقرار مناسب گیاهچه‌ها جهت تولید محصول، قدرت رویش بذر، سرعت جوانه زنی و یکنواختی سبز شدن اهمیت بالایی دارند (Iannucci et al., 2000). این ویژگی‌های بذر تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل محیطی و خاکی مثل دما، میزان اکسیژن، میکروارگانیسم‌های خاک، ساختمان و رطوبت خاک قرار می‌گیرند (Iannucci et al., 2000; Kurt and Bozkurt, 2006). گیاهان مختلف، اثر آب و هوای نامطلوب در طول مراحل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه از سایر مراحل رشد مهم‌تر هستند (Soltani et al., 2006a)، زیرا دما می‌تواند سبز شدن گیاهچه ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Carter et al., 2004; Zia and Khan, 2004; Soltani et al., 2006a). تعیین دقیق زمان سبز شدن و تعداد روزهای بیولوژیک (حداقل تعداد روز از کاشت تا سبز شدن گیاهچه در شرایط دما و رطوبت مناسب خاک) جهت پیش‌بینی عملکرد نهایی در مدل‌های شبیه‌سازی ضروری است (Soltani, 2009; Soltani et al., 2013). ارزیابی واکنش جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه‌ها نسبت به دما و تعیین دماهای کاردینال به منظور توسعه مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب زمان کاشت مناسب، غربال کردن گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین مناطق جغرافیایی مناسب برای جوانه‌زنی و استقرار گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها، مفید

است (Mwale et al., 1994; Soltani, 2009). با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن می‌توان اندازه نهایی گیاه، زمان سبز شدن گیاه زراعی و علف‌های هرز، میزان کاهش عملکرد در اثر رقابت با علف‌های هرز و زمان کنترل آن‌ها را برآورد کرد (Forcella, 1993)، بنابراین انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن گیاهچه نسبت به دما در تعیین دقیق دماهای کاردینال بسیار مهم است.

در زمینه تعیین دماهای کاردینال و مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر در ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان زراعی، تحقیقات زیادی صورت گرفته است. برای ارزیابی جوانه‌زنی بذر گیاهان زراعی معمولاً از مدل‌های رگرسیون غیرخطی استفاده می‌شود (Sarparast et al., 2006). ماوال و همکاران (Mwale et al., 1994) در آفتابگردان، الیس و همکاران (Ellis et al., 1986) در نخود و عجم‌نوروزی و همکاران (Ajam Norouzi et al., 2007) در باقلا تابع دوتکه‌ای را به عنوان مدل برتر برای کمی‌سازی سبز شدن به دما معرفی کردند. ترابی و سلطانی (Torabi and Soltani, 2012) با استفاده از تابع دندان‌ای، دماهای پایه، مطلوب تحتانی و فوقانی را برای سبز شدن ۵۰ درصد گیاهچه‌های ارقام نخود را به ترتیب ۴/۵، ۲۰/۲ و ۲۹/۰ درجه سانتی‌گراد و تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز آن را ۶/۱ روز برآورد کردند. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006b) با استفاده از مدل دندان‌ای، برای ارقام نخود دمای پایه را ۴/۵، دمای مطلوب تحتانی را ۲۰/۲، دمای مطلوب فوقانی را ۲۹/۳ و دمای سقف را ۴۰ درجه سانتی‌گراد و تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز را ۶ روز برآورد کردند. جیم و کاتفورث (Jame and Cutforth, 2004) و وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) از مدل بتا برای تعیین ۵۰ درصد سبز شدن در گندم استفاده کردند. ایشان زمان کاشت تا سبز شدن در گندم را پنج تا ۳۹ روز (با میانگین ۱۲/۲ روز) بدست آوردند. ویژیل و همکاران

در سرعت سبز شدن گیاهچه است که در مورد کلزا چهار درجه سانتی گراد گزارش شده است (Kimber and McGregor, 1995).

با توجه به اطلاعات اندک برای ارقام کلزای در شرایط رشدی متفاوت در مزرعه، تحقیق حاضر با هدف تعیین دماهای کاردینال و تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ارقام جدید کلزا در استان گلستان و کمی کردن واکنش سبز شدن گیاهچه ها نسبت به دما صورت گرفت.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. شهرستان گرگان با میانگین بلند مدت بارندگی سالانه ۶۰۷ میلی متر، میانگین دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی گراد، دامنه نوسان دمای سالانه ۱۰ درجه سانتی گراد و ارتفاع ۱۲۰ متر از سطح دریا، در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار دارد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی سیلتی با اسیدیته حدود ۷/۷ و هدایت الکتریکی ۰/۸ دسی زیمنس بر متر بود (جدول ۱). زمین مورد نظر در پاییز همان سال شخم زده شد و با دیسک زنی برای کاشت آماده شد.

(Vigil et al., 1997) در یک آزمایش از مدل های خطی ساده و غیرخطی دوتکه ای برای تعیین دمای پایه سبز شدن کلزا استفاده کردند. آن ها دمای پایه برای پنج رقم کلزا را بین ۰/۴۴ تا ۱/۲۰ درجه سانتی گراد و برای مجموع ارقام ۰/۹ درجه سانتی گراد به دست آوردند. جعفری و همکاران (Jafari et al., 2011) نیز با در آزمایشی از مدل های بتا و دوتکه ای برای کمی سازی سرعت ظهور سه رقم کلزا نسبت به دما استفاده کردند. برآورد دماهای کاردینال با استفاده از این مدل ها نشان داد که دمای پایه از ۷/۹ تا ۱۰/۹ درجه سانتی گراد، دمای بهینه از ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی گراد و دمای سقف از ۳۶ تا ۳۷/۲ درجه سانتی گراد برای ارقام مختلف کلزای مورد ارزیابی در نوسان بود. آن ها همچنین بیان کردند که از نظر تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه بین ارقام کلزا تفاوت معنی داری وجود داشت. در یک آزمایش برای ارزیابی واکنش سبز شدن گیاهچه های کلزای پاییزه و چند گیاه زراعی دیگر نسبت به دما و پتانسیل آب خاک، از مدل لجستیک استفاده شد (Blackshaw, 1991). در یک آزمایش دیگر که به همین منظور روی پنج رقم کلزا انجام گرفت، دمای پایه برای سبز شدن بین ۰/۴ تا ۱/۲ درجه سانتی گراد گزارش شد (Latifi et al., 2003). دمای پایه جوانه زنی (Base temperature) یا حداقل درجه حرارت لازم برای جوانه زنی بذر، یکی از مهم ترین عوامل مؤثر

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری)

Table 1. Physicochemical properties of the soil (depth 0-30 cm) of the experimental site

Characteristics	مشخصات	Rate	مقدار
Saturation percentage	درصد اشباع	55.3	
EC (dS.m ⁻¹)	هدایت الکتریکی	0.7	
pH	اسیدیته	8	
Neutrl materials (%)	مواد خنثی شونده	2	
Organic carbon (%)	کربن آلی	0.89	
Total nitrogen (%)	نیتروژن کل	0.09	
Available P (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب	9.8	
Available K (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب	160	
Clay (%)	رس	36	
Silt (%)	سیلت	58	
Sand (%)	شن	6	

برای سبز شدن می‌باشند. در این آزمایش از سه تابع دمایی برای توصیف تغییرات سرعت سبز شدن نسبت به دما استفاده شد (Soltani, 2009).

۱- تابع دو تکه‌ای (Segmented) که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (Soltani, 2009):

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

۲- تابع بتا (Beta) که با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Soltani, 2009):

$$f(t) = \frac{\left[\frac{TC - t}{TC - TP} \times \frac{TP - Tb}{TP - Tc} \right]^{\frac{TP - Tb}{Tc - Tp}}}{f_0} \quad (\text{رابطه ۴})$$

۳- تابع دندان‌ه‌ای (Dent-like) که با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Soltani, 2009):

$$f(T) = \begin{cases} \frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)} & \text{if } T_b < T \leq T_{o1} \\ \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o2})} & \text{if } T_{o2} < T \leq T_c \\ 1 & \text{if } T_{o1} < T \leq T_{o2} \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases}$$

T: میانگین دما از کاشت تا سبز شدن، T_p : دمای بهینه، T_b : دمای پایه، T_o : دمای مطلوب، T_{o1} : دمای مطلوب تحتانی (برای تابع دندان‌ه‌ای)، T_{o2} : دمای مطلوب فوقانی (برای تابع دندان‌ه‌ای)، T_c : دمای سقف و e_o : تعداد روز بیولوژیک لازم برای سبز شدن هستند. با توجه به اینکه در شرایط طبیعی، میانگین دما به‌ندرت از ۳۵ درجه‌سانتی‌گراد تجاوز می‌کند، T_c (دمای سقف) بطور ثابت ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. تخمین پارامترهای هر مدل به روش مطلوب‌سازی تکراری (Repeatable optimization) با استفاده از رویه PROCNLIN نرم‌افزار SAS انجام شد (Soltani, 2007). در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به

بذرهای پنج رقم کلزا (زرفام، هایولا ۴۰۱، هایولا ۳۰۸، هایولا ۵۰ و آرجی.اس.۰۳) در ۱۲ تاریخ کاشت (۱۷ آبان، ۱۸ آذر، ۱۷ دی، ۱۹ بهمن، ۱۵ اسفند ۱۳۹۲، ۱۸ فروردین، ۲۰ اردیبهشت، ۲۱ خرداد، ۱۰ تیر، ۱۸ مرداد، ۱۸ شهریور و ۱۷ مهر سال ۱۳۹۳) در هر تاریخ کاشت یک محیط در نظر گرفته شد، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کاشته شدند. در تاریخ کاشت ۱۸ مرداد ۱۳۹۳، به دلیل گرمای شدید هوا هیچ‌یک از ارقام سبز نشدند، به همین دلیل از اطلاعات مربوط به سایر تاریخ‌های کاشت استفاده شد. هر بلوک شامل هفت خط کاشت با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و طول هر خط کاشت سه متر و فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر بود که از طرفین هر بلوک یک ردیف و از ابتدای هر کرت فرعی، ۲۵ سانتی‌متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. میزان بذر کشت شده در هر یک متر طول از خطوط با عمق کاشت دو سانتی‌متر با احتساب قوه نامیه و درجه خلوص بذر، ۶۰ عدد بذر بود. در هر کرت‌ها تعداد بذرهای سبز شده (بذرهایی که بخشی از گیاهچه آنها در سطح خاک قابل رؤیت باشد) (Soltani, 2009)، در یک مترمربع شمارش و به صورت تجمعی ثبت گردید. در تمام تاریخ‌های کاشت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن، یادداشت شد و سپس عکس زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن با استفاده از رابطه ۱ به عنوان سرعت سبز شدن محاسبه شد (Soltani, 2001 and 2002).

$$R = \frac{1}{D} \quad (\text{رابطه ۱})$$

R و D: به ترتیب سرعت و طول دوره سبز شدن هستند. به منظور توصیف رابطه بین دما و سرعت سبز شدن و برآورد تعداد روز بیولوژیک و دمای کاردینال از رابطه ۲ استفاده شد (Soltani, 2009).

$$R = \frac{f(T)}{e_o} \quad (\text{رابطه ۲})$$

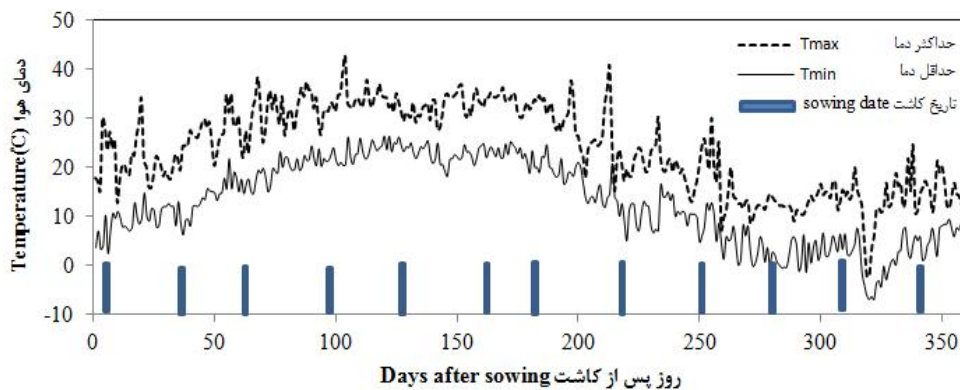
f(T): تابع دما و e_o : تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز

آن ها انجام گرفت (Rezaei and Soltani, 2008). برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

در مدت اجرای آزمایش، دامنه دمای هوای محل، حداکثر ۲/۴- تا ۴۲/۴ درجه سانتی گراد و دامنه دمای حداقل ۷- تا ۲۶/۴ درجه سانتی گراد بود. این دامنه گسترده نشان دهنده تغییرات مناسب دمایی محل اجرا در طول آزمایش (شکل ۱) بود.

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 RMSD (جذر میانگین مربعات خطا)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) بین روز تا سبز شدن مشاهده شده و روز تا سبز شدن پیش بینی شده، استفاده شد. مقایسه پارامترهای برآورد شده دماهای کاردینال بین مدل ها بر مبنای حدود اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۱- دمای حداقل و حداکثر هوا در طول اجرای آزمایش در گرگان (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳)

Fig. 1. Minimum and maximum temperatures during experiment in Gorgan (2013 and 2014)

شدن و سرعت سبز شدن تفاوت معنی داری وجود داشت. اثر متقابل تاریخ های کاشت و رقم از نظر دما و تعداد روز تا سبز شدن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین تاریخ های کاشت از لحاظ کلیه صفات گیاهی مورد ارزیابی تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بین ارقام کلزا نیز از لحاظ تعداد روز تا سبز

جدول ۲- دامنه و تعداد روز مشاهده شده تا سبز شدن گیاهچه ارقام کلزا در تیمارهای تاریخ کاشت

Table 2. Observed range and number of days to emergence of seedling of rapeseed cultivars in sowing date treatments

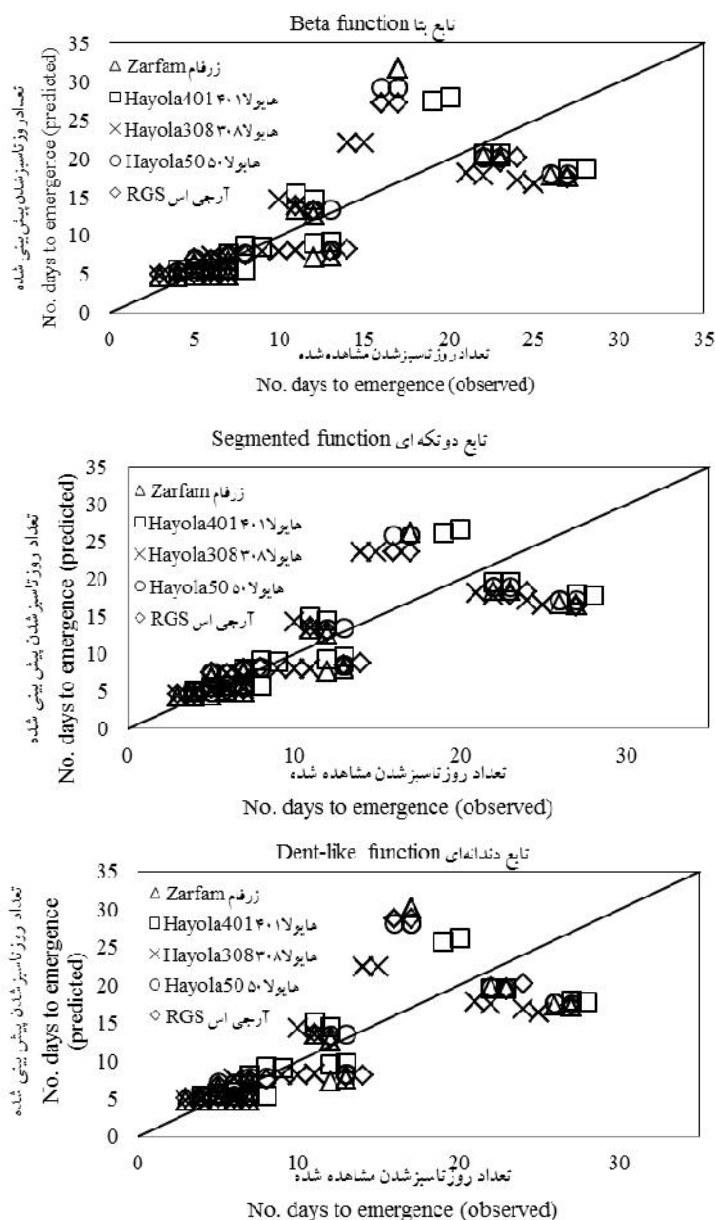
ارقام کلزا Rapeseed cultivars	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean
Zarfam زرفام	3	27	11.21
Hayola401 هایولا ۴۰۱	4	28	12.52
Hayola308 هایولا ۳۰۸	3	25	11.13
Hayola50 هایولا ۵۰	4	27	11.48
RGS003 آر.جی.اس	3	27	11.87

تاریخ کاشت بهمن بود که دلیل آن پایین بودن دمای هوا در طول سبز شدن در این ماه بود (شکل ۱).

طول دوره سبز شدن ارقام کلزا دامنه وسیعی داشت. بیشترین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن مربوط به

کمترین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن نیز مربوط به تاریخ کاشت خرداد بود (جدول ۲). بیشترین سرعت سبز شدن مربوط به ارقام زرفام، Hayola308 و RGS003 (روز ۳) در تاریخ کاشت خرداد بود.

مقایسه مدل‌های مختلف سرعت سبز شدن گیاهچه ارقام کلزا در جدول ۳ و کارایی برازش مدل‌ها در شکل ۲ ارائه شده است (کمتر بودن پراکنش نقاط در اطراف خط ۱:۱، نشان‌دهنده بالاتر بودن کارایی مدل



شکل ۲- تعداد روز تا سبز شدن مشاهده شده در مقابل پیش‌بینی شده در ارقام کلزا با استفاده از توابع بتا، دو تکه‌ای و دندانهای. خط نشان‌دهنده خط ۱:۱ است

Fig. 2. Observed days to emergence versus predicted ones of rapeseed cultivars using beta, segmented and dent-like functions. Line shows 1:1 line

جدول ۳- برآورد جذر میانگین مربعات خطا (RMSD)، ضریب تبیین (R^2)، خطای استاندارد (se) و ضریب همبستگی (r) برای مدل های توصیف کننده رابطه سرعت سبز شدن با دما در ارقام کلزا. ضریب تبیین (R^2) نشان دهنده رابطه بین سرعت سبز شدن با دما می باشد. ضرایب رگرسیون (a و b) و ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه مقادیر روز تا سبز شدن مشاهده شده و پیش بینی شده نیز ارائه شده اند

Table 3. Estimation of root mean square (RMSD), coefficient of determination (R^2), standard error (se) and correlation coefficient (r) for models that describe relationship between emergence rate and temperature in rapeseed cultivars. Coefficient of determination (R^2) shows relationship between emergence rate and temperature. Correlation coefficient and regression of observed days to emergence versus predicted ones have also been shown

تابع بتا		N	CV	RMSE	R^2	r	$a \pm se$	$b \pm se$
Beta function								
Zarfam	زرغام	33	28.37	0.04	0.69	0.68	*0.04±0.01	0.69±0.08
Hayola401	هایولا ۴۰۱	31	25.21	0.03	0.74	0.74	0.03±0.01	0.74±0.08
Hayola308	هایولا ۳۰۸	31	26.55	0.03	0.73	0.72	*0.03±0.01	0.73±0.08
Hayola50	هایولا ۵۰	33	23.16	0.03	0.77	0.76	*0.03±0.01	0.77±0.07
RGS003	آر.جی.اس	31	28.35	0.03	0.69	0.68	*0.04±0.01	0.69±0.08
Total	کل	159	26.48	0.03	0.71	0.71	*0.04±0.005	0.71±0.04
تابع دوتکه ای		N	CV	RMSE	R^2	r	$a \pm se$	$b \pm se$
Segmented function								
Zarfam	زرغام	33	25.6	0.03	0.76	0.75	*0.04±0.01	0.73±0.07
Hayola401	هایولا ۴۰۱	31	21.7	0.02	0.81	0.81	0.02±0.01	0.79±0.07
Hayola308	هایولا ۳۰۸	31	22.95	0.03	0.80	0.79	0.03±0.01	0.77±0.07
Hayola50	هایولا ۵۰	33	20.47	0.02	0.82	0.82	0.02±0.01	0.81±0.07
RGS003	آر.جی.اس	31	25.93	0.03	0.74	0.73	*0.03±0.01	0.71±0.08
Total	کل	159	23.85	0.03	0.77	0.77	*0.03±0.005	0.75±0.03
تابع دندانهای		N	CV	RMSE	R^2	r	$a \pm se$	$b \pm se$
Dent-like function								
Zarfam	زرغام	33	28.89	0.04	0.68	0.67	*0.04±0.01	0.68±0.08
Hayola401	هایولا ۴۰۱	31	25.26	0.03	0.74	0.73	0.03±0.01	0.74±0.08
Hayola308	هایولا ۳۰۸	31	26.22	0.03	0.74	0.73	*0.03±0.01	0.74±0.08
Hayola50	هایولا ۵۰	33	23.68	0.03	0.76	0.75	*0.03±0.01	0.76±0.08
RGS003	آر.جی.اس	31	28.6	0.03	0.68	0.67	*0.04±0.01	0.68±0.09
Total	کل	159	26.73	0.03	0.70	0.70	*0.04±0.005	0.70±0.04

*: Significant at 1% probability level

*: معنی دار در سطح احتمال یک درصد

با عرض از مبدأ خط ۱:۱ (یعنی صفر) مطابقت ندارد و معنی دار بودن ضریب b نشان دهنده این است که شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱:۱ (یعنی ۱) مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب است (شکل ۲)، بنابراین مدل های بتا و دندانهای نسبت به مدل دوتکه ای از دقت کمتری برخوردار هستند، زیرا اولاً جذر میانگین مربعات خطا در این دو مدل نسبت به مدل دوتکه ای بیشتر است، ثانیاً پراکندگی نقاط در اطراف

است). ضرایب b در هیچ یک از مدل ها معنی دار نبودند، اما ضرایب a در مدل های بتا و دندانهای معنی داری بیشتری داشتند. ضرایب a و b به ترتیب نشان دهنده مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ می باشد، اگر نقاط پیش بینی شده روی خط ۱:۱ قرار داشته باشند، نشان دهنده مناسب بودن مدل است. معنی دار بودن ضریب a نشان دهنده این است که عرض از مبدأ خط رگرسیون

خط ۱:۱ در مدل‌های بتا و دندانه‌ای نسبت به مدل دوتکه‌ای، بیشتر بوده و حاکی از دقت کمتر این دو مدل در پیش‌بینی سرعت سبز شدن ارقام کلزا نسبت به دما می‌باشد. بنابراین مدل‌های بتا و دندانه‌ای از این نظر برازش مناسبی ندارند.

مدل دوتکه‌ای به علت جذر میانگین مربعات خطای کمتر، ضریب تبیین و ضریب همبستگی بالا و کارایی بالاتر در پیش‌بینی سرعت سبز شدن به دما، به عنوان مدل برتر انتخاب شد که این موضوع با نتایج سایر محققان نیز مطابقت داشت. عجم‌نوروزی و همکاران (Ajam Norouzi et al., 2007) برای گیاه باقلا، الیس و همکاران (Ellis et al., 1986) در نخود، ویژیل و همکاران (Vigil et al., 1997) در کلزا، ماوال و همکاران (Mwale et al., 1994) در آفتابگردان نیز از این روش استفاده کردند. ترابی (Torabi, 2004) برای کمی کردن واکنش سبز شدن نخود از مدل‌های متعددی استفاده کرد و برای برازش سرعت سبز شدن نسبت به دما، مدل دندانه‌ای را به عنوان مدل برتر معرفی کرد.

با کمی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن نسبت به دما با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی، پارامترهای دمای پایه، دمای مطلوب، دمای سقف و تعداد روز

بیولوژیک لازم برای ۵۰ درصد سبز شدن برآورد شدند که پارامترها برای کلیه مدل‌ها در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. ارقام کلزا دارای تفاوت اندکی در دماهای کاردینال بودند، ولی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین آنها از نظر دماهای کاردینال بر پایه توابع بتا، دوتکه‌ای و دندانه‌ای وجود نداشت. دمای پایه برآورد شده توسط مدل‌های بتا، دوتکه‌ای و دندانه‌ای به ترتیب ۰/۰۱، ۳/۲ و ۳/۷ درجه سانتی‌گراد بودند. ویژیل و همکاران (Vigil et al., 1997) نشان دادند که بین دمای پایه پنج رقم کلزا تنوع وجود داشت. آنها اظهار داشتند که دمای پایه برای پنج رقم کلزا بین ۰/۴۴ تا ۱/۲۰ درجه سانتی‌گراد و برای مجموع ارقام ۰/۹ درجه سانتی‌گراد بود و بین ارقام از نظر دمای پایه تفاوت معنی‌داری وجود داشت، ولی بین دمای پایه تک‌تک ارقام با مجموع ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. ترابی (Torabi, 2004) با برازش مدل دندانه‌ای، دمای پایه سبز شدن برای ارقام نخود را ۴/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کرد.

دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برآورد شده توسط مدل دندانه‌ای ۲۳/۴ و ۳۱/۸ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۶). دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای و بتا ۲۶/۸ و ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. این

جدول ۴- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای بهینه (T_p)، تعداد روز بیولوژیک (eo)، خطای استاندارد (se) و حدود اطمینان (۹۵ درصد) برای سبز شدن ۵۰ درصد جمعیت ارقام کلزا با استفاده از تابع بتا. دمای سقف (T_c)، به طور ثابت ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است

Table 4. Estimation of base temperature (T_b), optimum temperature (T_p), number of biological days (eo), standard error (se) and confidence limits (CL95%) for 50% seedling emergence of population of rapeseed

ارقام کلزا		cultivars, using beta function. Ceiling temperature (T _c) was considered fixed (40 ℃)						
Rapeseed cultivars		T _b ± se	CL95%	T _p ± se	CL95%	T _c	eo ± se	CL95%
Zarfam	زرقام	4.8±1.82	1.1±8.5	26.7±0.78	25.1±28.3	40	4.7±0.29	4.1±5.3
Hayola401	هایولا ۴۰۱	5.6±1.32	2.9±8.3	26.8±0.69	25.4±28.2	40	5.6±0.31	4.4±6.2
Hayola308	هایولا ۳۰۸	4.2±1.83	0.5±7.9	27.2±0.72	25.7±28.6	40	4.8±0.29	4.3±5.5
Hayola50	هایولا ۵۰	5.2±1.25	2.6±7.7	26.4±0.62	25.2±27.7	40	5.3±0.25	4.8±5.8
RGS003	آر.جی.اس	4.9±1.63	1.6±8.3	26.7±0.78	25.2±28.3	40	5.0±0.32	4.3±5.6
Total	کل	0.01±3.18	-6.3±6.3	26.8±0.66	25.5±28.1	40	5.1±0.13	4.8±5.3

جدول ۵- برآورد دمای پایه (Tb)، دمای بهینه (Tp)، تعداد روز بیولوژیک (eo)، خطای استاندارد (se) و حدود اطمینان (۹۵ درصد) برای سبز شدن ۵۰ درصد جمعیت ارقام کلزا با استفاده از تابع دوتکه ای. دمای سقف (Tc)، به طور ثابت ۴۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است

Table 5. Estimation of base temperature (Tb), optimum temperature (Tp), number of biological days (eo), standard error (se) and confidence limits (CL95%) for 50% seedling emergence of population of rapeseed cultivars, using segmented function. Ceiling temperature (Tc) was considered fixed (40 °C)

ارقام کلزا		Tb ± se	CL95%	Tp ± se	CL95%	Tc	eo ± se	CL95%
Rapeseed cultivars								
Zarfam	زرغام	3.4±1.62	0.1±6.7	26.2±0.94	24.3±28.1	40	4.1±0.25	3.6±4.6
Hayola401	هایولا ۴۰۱	5.1±1.29	2.5±7.7	26.8±0.82	25.1±28.5	40	5.1±0.27	4.5±5.6
Hayola308	هایولا ۳۰۸	3.8±1.29	1.2±6.5	26.8±0.84	25.1±28.5	40	4.5±0.23	4.0±5.0
Hayola50	هایولا ۵۰	4.1±1.36	1.4±6.9	25.9±0.73	24.4±27.4	40	4.6±0.21	4.1±5.0
RGS003	آر.جی.اس	3.9±1.42	1.0±6.8	26.8±1.0	24.7±28.8	40	4.5±0.28	3.9±5.1
Total	کل	3.2±0.77	1.7±4.7	26.8±0.39	26.0±27.6	40	4.5±0.12	4.3±4.8

جدول ۶- برآورد دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب تحتانی (To1)، دمای مطلوب فوقانی (To2)، تعداد روز بیولوژیک (eo)، خطای استاندارد (se) و حدود اطمینان (۹۵ درصد) برای سبز شدن ۵۰ درصد جمعیت ارقام کلزا با استفاده از تابع دندانهای. دمای سقف (Tc)، به طور ثابت ۴۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است

Table 6. Estimation of base temperature (Tb), lower optimum temperature (To1), upper optimum temperature (To2), number of biological days (eo), standard error (se) and confidence limits (CL95%) for 50% seedling emergence of population of rapeseed cultivars, using dent-like function. Ceiling temperature (Tc) was considered fixed (40 °C)

ارقام کلزا		Tb ± se	CL95%	To1 ± se	CL95%	To2 ± se	CL95%	Tc	eo ± se	CL95%
Rapeseed cultivars										
Zarfam	زرغام	4.9±1.93	0.9±8.8	21.9±2.6	16.6±27.2	30.7±0.5	29.6±31.9	40	4.8±0.3	4.1±5.4
Hayola401	هایولا ۴۰۱	2.5±2.0	-1.6±6.7	25.7±2.6	20.4±31.1	31.3±0.4	30.4±32.2	40	5.4±0.3	4.7±6.2
Hayola308	هایولا ۳۰۸	2.5±2.12	-1.9±6.8	26.5±2.8	20.7±32.3	29.6±0.4	28.6±30.6	40	4.7±0.3	4.1±5.4
Hayola50	هایولا ۵۰	4.2±1.70	0.8±7.7	21.8±2.1	17.5±26.2	31.8±0.3	31.0±32.6	40	5.3±0.2	4.7±5.9
RGS003	آر.جی.اس	4.5±1.96	0.5±8.6	21.6±2.5	16.4±26.9	30.6±0.6	29.4±31.9	40	5.1±0.3	4.4±5.8
Total	کل	3.7±0.99	1.7±5.6	23.4±1.3	20.8±26.1	31.8±0.2	31.4±32.2	40	5.1±0.1	4.8±5.4

دمای مطلوب جوانه زنی برای این شش ژنوتیپ ۲۰/۱۱ درجه سانتی گراد بود و ژنوتیپ ها در دو گروه متفاوت قرار گرفتند؛ گروه اول فقط شامل یک ژنوتیپ با دمای مطلوب ۲۹ درجه سانتی گراد و گروه دوم شامل پنج ژنوتیپ با دمای مطلوب بین ۱۶/۲ تا ۲۰/۷ درجه سانتی گراد بودند (Latifi et al., 2003). الیس و همکاران (Ellis et al., 1987) دمای مطلوب برای سبز شدن ارقام لوییای معمولی را بین ۲۰ تا ۲۷ درجه سانتی گراد گزارش کردند.

مقادیر در محدوده دمایی بین دماهای مطلوب تحتانی و فوقانی برآورد شده توسط مدل دندانهای قرار داشتند. گزارش شده است که بهترین رشد کلزا در میانگین دمای شبانه روزی حدود ۲۵ درجه سانتی گراد به دست می آید. گیاه کلزا می تواند دمای ۴۰ درجه سانتی گراد را برای مدت کوتاهی تحمل نماید (Vigil et al., 1997). در آزمایشی که به منظور بررسی اثر دما روی جوانه زنی نه ژنوتیپ کلزا انجام شده بود، دمای مطلوب جوانه زنی برای شش ژنوتیپ از نه ژنوتیپ تعیین شد. میانگین

تعداد روز بیولوژیک لازم برای سبز شدن ۵۰ درصد بذرها برای مدل‌های بتا، دوتکه‌ای و دندانه‌ای به ترتیب ۵/۱، ۴/۵ و ۵/۱ روز به دست آمد. در بین ارقام کلزا تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن بر پایه توابع بتا، دوتکه‌ای و دندانه‌ای مشاهده نشد (جدول‌های ۴، ۵ و ۶). وایت و همکاران (White et al., 2012) دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف را برای ارقام گندم به ترتیب صفر، ۲۵/۵ و ۴۳/۹ درجه سانتی‌گراد بدست آوردند. ایشان دماهای پایه و مطلوب را با استفاده از تابع درجه دوم به ترتیب ۳/۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. قادری‌فر و همکاران (Ghaderi-Far et al., 2009) برای گیاه کدو تخمه کاغذی دمای پایه را با استفاده از تابع بتا ۳/۲۵-، دمای مطلوب را ۳۳/۸ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف را ۴۵ درجه سانتی‌گراد و تعداد ساعت بیولوژیک را ۱۹/۳۴ برآورد کردند. ترابی و سلطانی (Torabi and Soltani, 2012) تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ۵۰ درصد جمعیت ارقام نخود را با استفاده از مدل دندانه‌ای ۶/۱ روز برآورد کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که برای کمی کردن واکنش سبز شدن کلزا نسبت به دما می‌توان از مدل دوتکه‌ای استفاده کرد. مدل دوتکه‌ای نسبت به مدل‌های بتا و دندانه‌ای از دقت بیشتری در توصیف سرعت سبز شدن ارقام کلزا نسبت به دما برخوردار بوده و سرعت سبز شدن ارقام کلزا را نسبت به دما به خوبی توصیف می‌کند. دماهای کاردینال برآورد شده با استفاده از مدل برتر برای سبز شدن به ترتیب ۳/۲ درجه سانتی‌گراد برای دمای پایه، ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد برای دمای مطلوب و ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای دمای سقف به دست آمد. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن گیاهچه از عمق دو سانتی‌متری خاک، ۴/۵ روز بود. از نتایج این تحقیق می‌توان در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی زمان سبز شدن گیاهچه‌های کلزا در مزرعه استفاده کرد. بعلاوه دماهای کاردینال و تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن را می‌توان با توجه به دماهای حداقل و حداکثر هر منطقه در شرایط عدم تنش، محاسبه کرد.

References

- Ajam Norouzi, H., A. Soltani, E. Majidi and M. Homaei. 2007. Modelling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 14 (4): 100-110. (In Persian with English abstract).
- Blackshaw, R. E. 1991. Soil temperature and moisture effects on downy brome vs. winter canola, wheat and rye emergence. Crop Sci. 31: 1043-1040.
- Carter, C. T., L. S. Brown and I. A. Ungar. 2004. Effect of temperature regimes on germination of dimorphic seeds of *Atriplex prostrata*. Biol. Plant. 47: 269-272.
- Ellis, R. H., S. Covell, E. H. Roberts and R. J. Summerfield. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. 2. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at temperature. J. Exp. Bot. 37: 1503-1515.
- Ellis, R. H., G. Simon and S. Covell. 1987. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III. A comparison of five faba bean genotypes at constant temperature using a new screening

منابع مورد استفاده

method. J. Exp. Bot. 38: 1033-1043.

Forcella, F. 1993. Seedling emergence model for velvetleaf. Agron. J. 85: 929-933.

Ghaderi-Far, F., A. Soltani, and H. R. Sadeghipour. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. Convar. *Pepo* var. *Styriaca* Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. Int. J. Plant Prod. 16 (4): 1-19. (In Persian with English abstract).

Iannucci, A., N. di Fonzo and P. Martiniello. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under two irrigation treatments. Seed Sci. Technol. 28: 59-66.

Jafari, N., M. Esfahani and A. Sabouri. 2011. Evaluation of non-linear regression models for plant appearance rate of three cultivar of rapeseed in relation to temperature. Iran. J. Crop Sci. 4: 857-868. (In Persian with English abstract).

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

Kimber, D. and D. I. McGregor. 1995. Brassica oilseeds. Production and Utilization. CAB International.

Kurt, O. and D. Bozkurt. 2006. Effect of temperature and photoperiod on seedling emergence of flax (*Linum usitatissimum* L.). Agron. J. 5: 541-545.

Latifi, N., A. Soltani, and D. Spaner. 2003. Effect of temperature on germination parameters in canola cultivars. Iran. J. Agric. Sci. 35 (2): 313-321. (In Persian with English abstract).

Mwale, S. S., S. N. Azam-Ali, J. A. Clark, R. G. Bradley and M. R. Chatha. 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Seed Sci. Technol. 22: 565-571.

Rezaei, A. and A. Soltani. 2008. Introduction to applied regression analysis (Thirds Ed.). Isfahan University Press. Isfahan, Iran. 294 pp. (In Persian).

Sarparast, R., M. Yousefi Daz, A. Soltani, F. Akram Ghaderi, and E. Zeinali. 2006. Evaluation of non-linear regression models for germination rate prediction of chickpea in relation to temperature. J. Agric. Sci. Technol. 20 (1): 93-102. (In Persian with English abstract).

Soltani, A. 2007. Use of the SAS statistical analysis software. JDM Press, Mashhad, Iran. 182 pp. (In Persian).

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

Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali, and N. Latifi. 2001. Genetic variation and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. Seed Sci. Technol. 29: 653-662.

Soltani, A., E. Zeinali, S. Galeshi, and N. Latifi. 2002. Germination, seed reserve utilization and seeding growth of chickpea as affected by salinity and seed size. J. Agric. Sci. Technol. 30: 51-60.

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

Soltani, A., M. J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi Daz, and R. Sarparast. 2006b. Modelling seedling

- emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agric. Forest Meteorol. 138: 156-167.
- 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.
- Torabi, B. and A. Soltani. 2012.** Quantifying response of chickpea emergence to air temperature. J. Crop Prod. Process. 2 (6): 109-120. (In Persian with English abstract).
- Torabi, B. 2004.** Prediction development in chickpea. Msc. Thesis, Agricultural Science and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran.
- Vigil, M. F., R. L. Anderson and W. E. Beard. 1997.** Base temperature and growing-degree-hour requirement for the emergence of canola. Crop Sci. 37: 844-849.
- Wang, H., H. Cutforth, T. McCaig, G. McLeod, K. Brandt, R. Lemke, T. Goddard and C. Sprout. 2009.** Predicting the time to 50% seedling emergence in wheat using a Beta model. NJAS -Wageningen J. Life Sci. 57: 65-71.
- White, J., W. Bruce, A. Kimball, G. W. Wall, M. Michael and J. Ottman. 2012.** Cardinal temperatures for wheat leaf appearance as assessed from varied sowing dates and infrared warming. Field Crops Res. 137: 213-220.
- Zia, S. and M. A. Khan. 2004.** Effect of light, salinity and temperature on seed germination of *Limonium stocksii*. Can. J. Bot. 84: 151-157.

Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions

Lakzaei, S.¹, A. Soltani², E. Zeinali³, F. Gaderifar⁴ and S. Jafarnodeh⁵

ABSTRACT

Lakzaei, S., A. Soltani, E. Zeinali, F. Gaderifar and S. Jafarnodeh. 2017. Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19(3): 195-207. (In Persian).

Determination of response function of seed germination and seedling emergence to temperature and obtaining cardinal temperatures (base, optimal and maximum) and biological day requirement (minimum day number for seed germination and seedling emergence under optimal temperature and moisture conditions) for emergence is important for crop simulation modeling. This study was carried out to survey seedling emergence response to temperature in five rapeseed cultivars that were sown on 12 sowing dates under Gorgan environmental conditions (2013-2014). Three regression models including beta, segmented and dent-like were used to describe the response of seedling emergence rate to temperature. Root mean square of error, coefficient of determination, correlation coefficient and regression of predicted versus observed values were used to develop the appropriate model. Segmented model was superior compared to beta and dent-like models to achieve the objective of this study. Estimated cardinal temperatures using appropriate model were 3.2, 26.8 and 40°C for base, optimum and maximum temperatures, respectively. Estimation of biological day requirement in sowing depth of 2 cm showed 4.5 days. The result showed that there is no significant difference for cardinal temperatures and biological day requirement among cultivars. It was concluded that segmented model can be used to quantify the response of rapeseed seedling emergence to temperature and to obtain cardinal temperatures of emergence and thermal time or time to emergence. These parameters are required to develop prediction models for rapeseed seedling emergence under diverse temperature conditions.

Key words: Biological day, Cardinal temperatures, Seedling emergence, Segmented model and Rapeseed.

Received: January 2017 Accepted: September 2017

1. Former MSc. Student, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran (Corresponding author)
(Email: afsoltani@yahoo.com)

3. Associate Prof., Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran.

4. Assistant Prof., Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

5. Former MSc. Student, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran