

دماهای کاردینال، واکنش به دما و دامنه بردباری دمایی جوانه‌زنی بذر بامیه (*Abelmoschus esculentus*)

وحید امیری منفرد^۱، محمد فتح الهی^۲ و رضا توکل افشاری^{۳*}

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه گیلان

۳. استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۲)

چکیده

هدف از این تحقیق کمی‌سازی پاسخ سرعت جوانه‌زنی بامیه به دما، برآورد دماهای کاردینال برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی بود. سه مدل رگرسیونی غیرخطی [چند جمله‌ای درجه دو، دوتکه‌ای و بتا] در هفت دمای ثابت [۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد] برای توصیف پاسخ دمایی سرعت جوانه‌زنی بامیه مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های مختلف آماری [ریشه میانگین مربعات (RMSE) و ضریب تبیین (R²)] برای مقایسه مدل‌ها به کار رفت. پارامترهای مدل برآورد شده با استفاده از مدل بتا از اطمینان بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بود (RMSE=0.0019, R²=0.90). دماهای پایه، بهینه و بیشینه به ترتیب ۹/۸۴، ۳۰/۳۱ و ۴۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. دماهای کاردینال به مدل‌های مورد ارزیابی بستگی داشت. به طور کلی مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها برآورد بهتری از دماهای کاردینال بامیه داشت. ویژگی‌های جوانه‌زنی شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه و بنیه بذر به طور معنی‌داری تحت تأثیر دمای جوانه‌زنی قرار گرفتند. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۸/۷ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۰/۰۲۰۷) به ترتیب در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: دمای بهینه، دمای بیشینه، دمای پایه، ضریب تبیین، مدل بتا.

Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in Okra (*Abelmoschus esculentus*)

Vahid Amiri Monfared¹, Mohammad Fatolahi² and Reza Tavakkol Afshari^{3*}

1. Former M.Sc. Student, Seed Science and Technology, Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Former M.Sc. Student, Seed Science and Technology, University of Guilan, Iran

3. Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: Oct. 17, 2015 - Accepted: May. 1, 2016)

ABSTRACT

The aim of this study was to quantify the response of germination rate to temperature and determining cardinal temperatures for different germination percentiles in *Abelmoschus esculentus*. Three models of non-linear regression [Quadratic, segmented and beta] were investigated to describe the temperature response of germination rate of *A. esculentus* over seven constant temperatures (10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C). Different statistical indices [Root Mean of Squares of Error (RMSE) and coefficient of determination (R²)] were used to compare models. The estimated model parameters using by beta models were more confidence than others (RMSE=0.0019, R²=0.90). The base, the optimum and the ceiling temperatures for the germination of *A. esculentus* were estimated to be 9.84, 30.31 and 40.63 °C, respectively. The cardinal temperatures depended on the model used for their estimation. Overall, the beta model was better suited than the other models to estimate the cardinal temperatures for the germination of *A. esculentus*. The greatest germination percentage (98.7) and germination rate (0.0207) was observed in 25 and 30 °C, respectively.

Keywords: Base temperature, beta model, ceiling temperature, coefficient of determination, optimum temperature.

مقدمه

بامیه گیاهی است گرمسیری از خانواده پنیرک (*Malvaceae*) که موطن اصلی آن را شمال آفریقا، مصر و نواحی مدیترانه‌ای دانسته‌اند و در چندین کشور از جمله کنیا، زیمبابوه و زامبیا (Chweya & Eyzaguirre, 1999) کشت می‌شود. این گیاه دارای ساقه راست، پوشیده از تار و ارتفاع ۰/۵ تا ۱ متر (گاهی ۲ متر) است. رنگ گلبرگ‌های آن زرد، ولی در قسمت وسط، قرمز رنگ است. میوه هرمی شکل، دراز و محتوی دانه‌های پوشیده از تار دارد.

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند بیولوژیکی پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی است (Shafii & Price, 2001) و به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین دوره‌ها در چرخه زندگی گیاهان در نظر گرفته می‌شود (Ungar, 1978). جوانه‌زنی بذر معمولاً بحرانی‌ترین عامل تعیین‌کننده موفقیت یا شکست استقرار گیاه است (Kader & Jutzi, 2004). عوامل محیطی مختلفی از جمله درجه حرارت و رطوبت، جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Koochaki & Momen shahroodi, 1996). دما و رطوبت می‌توانند با هم و یا به طور جداگانه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی اثر گذار باشند (Bloomberg et al., 2009). وقتی رطوبت مناسب باشد، سرعت و درصد جوانه‌زنی یک نمونه بذری دارای قابلیت حیات، توسط دما کنترل می‌شود (Bradford et al., 2004). عکس‌العمل جوانه‌زنی نسبت به درجه حرارت به عوامل متعددی از جمله گونه‌های گیاهی، وارسته، منطقه رویش، کیفیت بذر و مدت زمان پس از برداشت بستگی دارد (Copeland & McDonald, 1995).

اثر دما روی نمو گیاه اساس مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی است (Kamkar et al., 2012). پژوهشگران رابطه خطی بین دما و سرعت جوانه‌زنی را در برخی گونه‌های گیاهی گزارش کرده‌اند و عمدتاً از رگرسیون خطی برای توصیف رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌کنند (Kocabas et al., 1999; Ramin, 1997). از آنجا که جوانه‌زنی با دما تغییر می‌یابد، تعریف دماهای کاردینال و سپس تخمین زمان حرارتی مورد نیاز برای

جوانه‌زنی، جایگزین مناسبی برای مقایسه منحنی جوانه‌زنی حاصل از رژیم‌های دمایی مختلف است. دامنه دمایی برای جوانه‌زنی توسط دماهای پایه، بهینه و بیشینه (سقف) تعریف می‌شود که می‌تواند برخی محدودیت‌های زیست محیطی برای توزیع جغرافیایی گونه‌ها را تعیین کنند (Hakansson et al., 2002).

تحقیقات انجام شده در زمینه گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که در دماهای بالاتر از دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی به صورت خطی و معمولاً با شیبی بیش‌تر در مقایسه با شیب خط رگرسیون دماهای کمتر از مطلوب، کاهش می‌یابد. نقطه تلاقی دو خط رگرسیون یاد شده به عنوان دمای مطلوب، دمایی که در آن جوانه‌زنی با بیش‌ترین سرعت انجام می‌شود و محل تلاقی امتداد خطوط رگرسیون اول و دوم با محور دما به ترتیب دمای پایه (مبنای) و دمای حداکثر (سقف) در نظر گرفته می‌شود. همچنین، عکس شیب هر یک از خطوط رگرسیون، زمان دمایی (تعداد درجه-روز رشد یا درجه-ساعت رشد) مورد نیاز برای جوانه‌زنی در یک دامنه دمایی معین را به دست می‌دهد (Covell et al., 1986; Ong & Monteith, 1985). در زمینه تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاهان زراعی و واکنش جوانه‌زنی آن‌ها به تغییر دما، مطالعات زیادی انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات Zeinati et al. (2010) در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.)، Vigil et al. (1997) در کلزا (*Brassica napus* L.)، شلغم روغنی (*B. rapa* L.) و Matthews & Hayes (1982) در سویا (*Glycine max* (L) Merr) اشاره کرد.

با توجه به کاربرد دماهای کاردینال و تنوع آن در انتخاب گیاه مورد نظر و اهمیت اقلیم دمایی گوناگون در کشور، این تحقیق به منظور ارزیابی تنوع دماهای کاردینال جوانه‌زنی، واکنش ویژگی‌های جوانه‌زنی به تغییر دمای محیط و دامنه بردباری دمایی جوانه‌زنی بذر بامیه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تحقیقات علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۴

در روش مدل دو تکه‌ای نیز، برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی ابتدا نمودار مقادیر متوسط سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما ترسیم شد. سپس منطبق بر مدل ارائه شده توسط Biethuizen & Wagenvoorth (1974) و Labouriau *et al.* (1970) دو مدل یک و دو به طور همزمان به ترتیب برای محدوده دمایی پایه تا دمای بهینه (رابطه ۵) و دمای بهینه تا دمای بیشینه (رابطه ۶) و با استفاده از یک رابطه شرطی برازش داده شد:

$$GR = \frac{1}{t} = \frac{(T - T_b)}{\theta T_1} \quad (5)$$

$$GR = \frac{1}{t} = \frac{(T - T_c)}{\theta T_2} \quad (6)$$

در رابطه‌های فوق، T ، دمای محیط، T_b ، دمای حداقل، T_c ، دمای بیشینه، θT_1 مجموع زمان حرارتی بین دمای پایه تا دمای بهینه و θT_2 مجموع زمان حرارتی بین دمای بهینه تا بیشینه می‌باشد. دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه شده و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. برای این منظور تغییرات سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما ترسیم شد. آنگاه با برازش رابطه ۳ به دماهای زیر حد بهینه و رابطه ۴ به دماهای بالای حد بهینه، دماهای کاردینال محاسبه شد.

برای مدل بتا نیز از رابطه (۷) استفاده گردید (Yin *et al.*, 1995):

$$f(T) = \left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right) \left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \right)^c \quad (7)$$

همچنین برای دقت مدل از پارامترهای RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و R^2 (ضریب تبیین رگرسیون بین مقادیر پیش‌بینی و مقادیر مشاهده شده) استفاده شد.

نتایج و بحث

به طور کلی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر دما بر کلیه خصوصیات جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین واکنش درصد جوانه‌زنی تجمعی

انجام شد. ارزیابی واکنش جوانه‌زنی در دماهای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد تحت دوره نوری ۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی در انکوباتور انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. در هر تکرار ۲۵ عدد بذر انتخاب شد و در ظروف پتری به قطر ۹ سانتی‌متر، حاوی کاغذ صافی مرطوب شده، قرار داده شدند و به دماهای ثابت مورد نظر انتقال یافتند. به منظور حفظ رطوبت و تبادل حرارتی مناسب، ظروف پتری در طول دوره آزمایش به میزان مناسب مرطوب نگه داشته شد. شمارش بذرهاى جوانه‌زده، ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش و به طور روزانه انجام گرفت و به عنوان بذرهاى جوانه زده (دارای طول ریشه‌چه ۲-۱ میلی‌متر یا بیشتر) ثبت شدند (Adam *et al.*, 2007; Brindle *et al.*, 2005). شمارش بذر تا زمان نهایی جوانه‌زنی و یا تا زمانی که جوانه‌زنی به میزان ثابتی می‌رسید، به طور منظم ادامه پیدا کرد. برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه (۱) استفاده شد (Mahmoodi *et al.*, 2008).

$$R50=1/D50 \quad (1)$$

برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بامیه از مدل‌های درجه دو، دوتکه‌ای و بتا استفاده شد.

برای تعیین دمای کاردینال با استفاده از مدل چند جمله‌ای درجه دو، از رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$f = a + bT + cT^2 \quad (2)$$

$$T_0 = b + 2cT \quad (3)$$

$$T_c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4)$$

در رابطه‌های ۲، ۳ و ۴، f : سرعت جوانه‌زنی (بر حسب روز)، T : درجه حرارت (بر حسب سانتی‌گراد)، T_b ، T_o و T_c ، به ترتیب دمای پایه، دمای بهینه و دمای بیشینه، همچنین a ، b و c ضرایب رگرسیون را نشان می‌دهند. در مدل چند جمله‌ای درجه ۲، درجه حرارت بهینه رابطه (۳) با استفاده از مشتق اول رابطه ۲ محاسبه شد. ریشه‌های رابطه چند جمله‌ای درجه دو (رابطه ۴) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

بهینه، مقادیر صفات نامبرده به شدت کاهش پیدا کرد، به طوری که مقادیر آنها در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش چشمگیری داشت و اینکه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به صفر رسید (جدول ۲).
با توجه به این امر می‌توان نتیجه گرفت که گیاه بامیه می‌تواند در مناطق گرمسیر رشد و عملکرد مطلوبی را در مقایسه با مناطق معتدل و سردسیر داشته باشد.
در زمینه اثر درجه حرارت مختلف بر جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف تحقیقات زیادی انجام شده است که می‌توان به مطالعه لبلانک (Leblanc, 2003) در *Chenopodium album* و همچنین Parmoon *et al.* (2015) در *Silybum marianum* اشاره کرد.

در دماهای مختلف در مقابل زمان متفاوت بود (شکل ۴). مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی بذر بامیه نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی به مقدار ۹۸/۷ درصد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد، همچنین بالاترین سرعت جوانه‌زنی به مقدار ۰/۰۲۰۷ در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد دیده شد (جدول ۲). در دماهای پایین‌تر از دمای بهینه درصد جوانه‌زنی کاهش معنی‌داری داشت، به گونه‌ای که مقدار آن در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد حدود ۵۹ درصد (نسبت به دمای بهینه) کاهش یافت. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین بنیه بذر بامیه به شدت تحت تأثیر دمای جوانه‌زنی قرار گرفت، در دماهای پایین‌تر از دمای

جدول ۱. میانگین مربعات خصوصیات جوانه‌زنی بامیه تحت تأثیر دماهای مختلف

S.O.V	df	Rate of Germination	Germination %	Stem length	Root length	Vigor index
Temperatures (°C)	6	0.0001**	5232	517.6**	1475.7**	3657**
Error	14	0.000002	84.5	5.04	10.6	18.6
Coefficient of variation (CV%)		18.44	17.68	24.5	25	21.6

** Values followed by different letters are significantly different at $p < 0.01$ level according to Duncan test. **: معنی دار در سطح ۱ درصد.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات جوانه زنی بذر بامیه در دماهای مختلف جوانه‌زنی

Temperature (C)	Germination (%)	Germination rate (number/day)	Root length (mm)	Shoot length (mm)	Vigor index
10	- d	- d	- d	-c	-c
15	30.7c	0.0057c	1.00d	2.00c	0.89c
20	90.7a	0.0074c	8.33bc	14.66b	20.52b
25	98.7a	0.0126b	36.66a	61.33a	96.7a
30	80.0ab	0.0207a	13.66b	8.66bc	17.76b
35	64.0b	0.0173a	4.33cd	1.33c	3.76c
40	-b	-a	-d	-c	-c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The same letters are not significantly different in each row based on the Duncan test at the level of 5%.

مدل‌های دوتکه‌ای و درجه دو و همچنین مقدار بالای R^2 (۰/۹۰) بیانگر این است که این مدل توانسته است به خوبی جوانه‌زنی بامیه را توصیف کند، همچنین مدل دو تکه‌ای هم می‌تواند بعد از مدل بتا برآورد نسبتاً خوبی در این رابطه داشته باشد. این مسئله با یافته‌های محققین دیگر مطابقت داشت (Kazeruni Monfared *et al.*, 2012; Hoseini *et al.*, 2012; Mahmoodi *et al.*, 2008). در بررسی انجام شده روی ارقام مختلف کلزا، مدل بتا و دوتکه‌ای، بهترین مدل‌های پیش‌بینی دماهای کاردینال این گیاه معرفی شدند (Jafari *et al.*, 2012).

محاسبه دماهای کاردینال سرعت جوانه‌زنی بذر بامیه کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر بامیه در دماهای مختلف به کمک مدل‌های چند جمله‌ای درجه دو (شکل ۱)، دوتکه‌ای (شکل ۲) و بتا (شکل ۳) برازش داده شد. مقادیر $RMSE$ (جذر میانگین مربعات خطا)، R^2 (ضریب تبیین)، T_b (دمای پایه)، T_o (دمای بهینه)، و T_c (دمای سقف) مربوط به مقادیر ساعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مدل‌های چند جمله‌ای درجه دو، دوتکه‌ای و بتا در جدول (جدول ۳) نشان داده شده است. مدل بتا با داشتن $RMSE$ پایین‌تر نسبت به

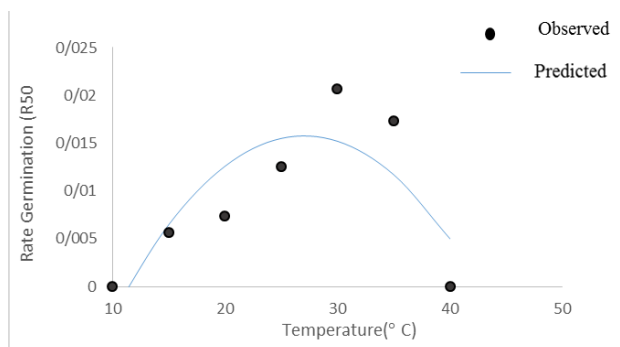
جدول ۳. پارامترهای پیش‌بینی شده با استفاده از مدل دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا برای جوانه‌زنی بذر بامیه

Table 3. Estimated parameters for the segmented, beta and quadratic models for germination of *Abelmoschus esculentus* seeds

Cardinal temperature (°C)	Segmented model	Quadratic model	Beta model
T _b : Base temperature	10.4	11.35	9.84
T _o : Optimum temperature	24.73	27.04	30.31
T _c : Ceiling temperature	41.12	42.73	40.63
RMSE ¹	0.0022	0.0043	0.0019
R ²	Suboptimum temperature :0.94 supraoptimum temperature:0.82	0.064	0.090

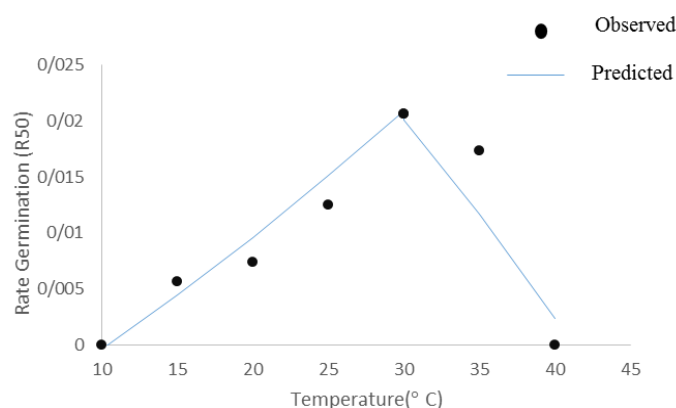
۱. این شاخص معیاری برای دقت نتایج است و معمولاً هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق (fit) باشد مقدار آن کم‌تر می‌شود.

1. This index is used to compare the models and select the best one. The lower index value means the better model.



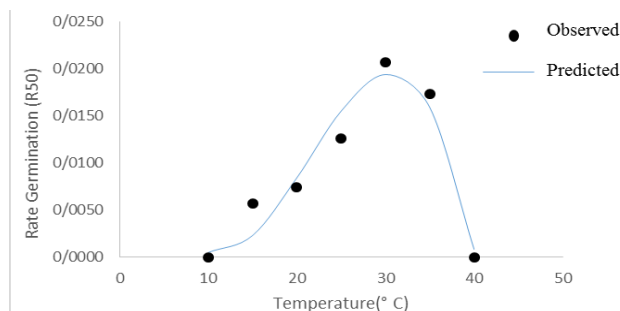
شکل ۱. رابطه بین سرعت جوانه‌زنی (R50) و دما (درجه سانتی‌گراد) در بامیه بر اساس مدل درجه دو

Figure 1. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate of *Abelmoschus esculentus* seeds at different temperatures to reach 50% germination (R50) using quadratic model.



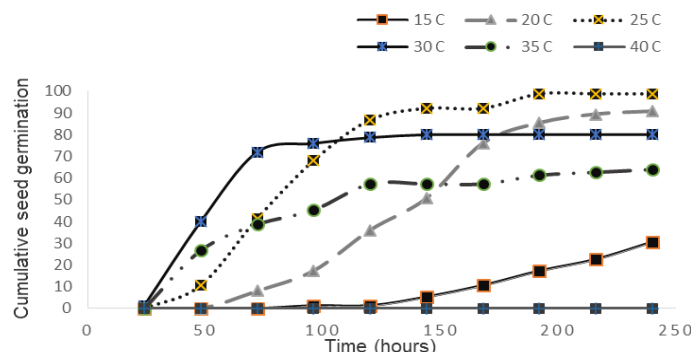
شکل ۲. رابطه بین سرعت جوانه‌زنی (R50) و دما (درجه سانتی‌گراد) در بامیه بر اساس مدل دو تکه‌ای

Figure 2. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate of *Abelmoschus esculentus* seeds at different temperatures to reach 50% germination (R50) using segmented model



شکل ۳. رابطه بین سرعت جوانه‌زنی (R50) و دما (درجه سانتی‌گراد) در بامیه بر اساس مدل بتا

Figure 3. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate of *Abelmoschus esculentus* seeds at different temperatures to reach 50% germination (R50) using beta model



شکل ۴. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی بذر بامیه در دماهای مختلف

Figure 4. Cumulative germination percentage of *Abelmoschus esculentus* seeds at different temperatures

به دماهای پایین بیش‌تر از دماهای بالا بود. بنابراین با توجه به کاهش شدید سرعت و درصد جوانه‌زنی در دماهای پایین و در نتیجه کاهش عملکرد محصول، کشت در این دماها قابل توصیه نمی‌باشد.

نتایج نشان داد که به دلیل وجود مقادیر R^2 کم‌تر و RMSE بالا برای مدل چند جمله‌ای درجه دو، این تابع جهت استفاده در مدل‌سازی جوانه‌زنی مناسب نیست. بر اساس این یافته‌ها، حساسیت حداکثر جوانه‌زنی

REFERENCES

1. Akram-Ghaderi, F., Soltani, E., Soltani, A. & Miri, A. A. (2008). Effect of priming on response of germination to temperature in cotton. *Iranian Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 15(3).
2. Biethuizen, J. F. & Wagenvoorth, W. A. (1974). Some aspects of seed germination in vegetables. I. The determination and application of heat sums and minimum temperature for germination. *Hortical Science*, 2(3), 213-219.
3. Bloomberg, M., Sedcole, J. R., Mason, E. G. & Buchan, G. (2009). Hydrothermal time germination models for radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Seed Science Research*, 19, 171-182.
4. Bradford, K. J. & Still, D. W. (2004). Applications of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26, 75-85.
5. Chweya, J. A. & Eyzaguirre, P. B. (Eds) (1999). The biodiversity of traditional leafy vegetables. The Netherlands: *The International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI)*.
6. Copeland, L. O. & McDonald, M. B. (1995). *Principles of Seed Science and Technology*. Chapman and Hall, USA.
7. Covell, S., Ellis, R. H., Roberts, E. H. & Summerfield, R. J. (1986). The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 37, 705-715.
8. Hakansson, I., Myrbeck, A. & Ararso, E. (2002). A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil Tillage Research*, 64, 23-40.
9. Hoseini, M., Mojab, M. & Zamani, Gh. (2012). Evaluation wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.), barley grass (*H. murinum* L.) and hoary cress (*Cardaria draba* L.) germination in different temperatures. *In proceeding of 4th Iranian Weed Science Congress*, 6th-7th February, Ahvaz, Iran. p. 108.
10. Jafari, N., Esfahani, M. & Saburi, A. (2012). Evaluation non-linear regression for germination rate of canola (*Brassica napus* L.) to temperature. *Iranian Crop Science*, 4, 857-868.
11. Kader, M. A. & Jutzi, S. C. (2004). Effect of thermal and salt treatments during imbibition on germination and seedling growth of sorghum at 42/19 °C. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 190, 35-38.
12. Kamkar, B., Al-Alahmadi, M. J., Mahdavi-Damghani, A. & Villalobos, F. J. (2012). Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 192-198.
13. Kazeruni monfared, A., Rezvani Moghadam, P., Nasiri Mahalati, M. & Tokasi, S. (2012). Investigation on the cardinal temperatures for germination of *Solanum nigrum*. In: *Proceedings of 4th Iranian Weed Science Congress*, 6th-7th February, Ahvaz, Iran. p. 122. (in Farsi)
14. Kocabas, Z., Craigon, J. & Azam-Ali, S. N. (1999). The germination response of Bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) Verdo) to temperature. *Seed Science and Technology*, 27, 303-313.

15. Kochaki, A. & Momen shahroodi, H. (1997). Effect of water potential and seed size on seed germination characteristics of (*Cicer arietinum*). *Desert Journal*, 1, 53-56. (in Farsi)
16. Labouriau, L.G. (1970). On the physiology of seed germination in *Vicia graminea* I. *Annals Acad Brasilia Ciencia*, 42, 235-262.
17. Leblanc, M. L. (2003). The use of thermal time to model common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence in corn. *Weed Science*, 51, 718-724.
18. Mahmoodi, A., Soltani, E. & Barani, H. (2008). Germination response to temperature in snail medic (*Medicago sativa* L.). *Electronic Journal of Crop Production*, 1, 54-63.
19. Matthews, D. J. & Hayes, P. (1982). Effect of temperature on germination and emergence of six cultivars of soybeans (*Glycine max*). *Seed Science & Technology*, 10, 547-555.
20. Ong, C. K. & Monteith, J.L. (1985). Response of pearl millet to light and temperature. *Field Crops Research*, 11, 141-160.
21. Parmoon, G., Moosavi, S. A., Akbari, H., & Ebadi, A. (2015). Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop Journal*, 3(2), 145-151.
22. Ramin, A. A. 1997. The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium amploprasum* L.spp.iranicum W.). *Seed Science and Technology*, 25, 419-426.
23. Shafii, B., & Price, W. J. (2001). Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 6(3), 356-366.
24. Vigil, M.F., Anderson, R.L., and Beard, W.E. (1997). Base temperature and growing degree hour requirement for the emergence of canola. *Crop Science*, 37, 844-849.
25. Yin, X., Krop, M.J., McLaren, G. & Visperas, R. M. (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(3), 1-16.
26. Zeinati, E., Soltani, A., Galeshi, S. & Sadati, S. J. (2010). Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 3, 23-42.