

## بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر پیاز (*Allium cepa*) به دما با تجزیه ترمال تایم و تعیین دماهای کاردینال با استفاده از توابع رگرسیونی مختلف

مهتاب نظری<sup>۱</sup>، آرش مامدی<sup>۲\*</sup> و سید محمد باقر حسینی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
  ۲. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
  ۳. عضو هیات علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- (تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۸)

### چکیده

این تحقیق به منظور کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بذر پیاز (*Allium cepa*) نسبت به دماهای مختلف انجام گرفت. بدین منظور، جوانه‌زنی این گیاه تحت تأثیر تیمارهای دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) در آزمایشگاه تحقیقات بذر پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۴ بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد، با افزایش دما از ۵ به ۳۰ درجه سلسیوس، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی افزایش و پس از آن کاهش یافت. با برازش چهار مدل رگرسیونی غیر خطی شامل دوتکه‌ای، دندان‌مانند، بتا و بتای تغییر یافته، مدل‌های دندان‌مانند و بتای تغییر یافته به عنوان مدل برتر انتخاب که با استفاده از مدل دندان مانند دماهای پایه، مطلوب تحتانی و مطلوب فوقانی و سقف به ترتیب ۰/۳، ۲۴/۹۹، ۳۳، ۳۵/۸۹ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا دماهای پایه، مطلوب و سقف به ترتیب ۰/۲، ۲۶/۸۷ و ۳۵/۵۱ برآورد شد. برای پیش بینی زمان جوانه‌زنی در دماهای ثابت مختلف از مدل زمان-دمایی استفاده شد که ضریب ثابت ترمال تایم برابر ۳۱۹۱/۴۳ درجه سلسیوس بر ساعت بود. واژه‌های کلیدی: ترمال تایم، دماهای کاردینال، جوانه‌زنی، مدل بتای تغییر یافته، مدل دندان‌مانند.

## The evaluation response of onion (*Allium cepa*) seed germination to temperature by Thermal-time analysis and determine cardinal temperatures by using nonlinear regression

Mahtab nazari<sup>1</sup>, Arash Mamedi<sup>2</sup>, Seyyad Mohamad Bagher Hoseine<sup>3</sup>

1. Ms.C student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
  2. Ph.D Student Of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
  3. Agronomy and Plant Improvement Institute, Ministry of Agriculture, University of Tehran
- (Received: October 14, 2016 - Accepted: March 18, 2017)

### ABSTRACT

This study was conducted to quantify germination response of onion (*Allium cepa*) to temperature. For this purpose, seeds were exposed to various constant temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40°C) treatments in seed lab, on Tehran university, in 2015. The effects of temperatures on rate and percentage of germination was significant. With temperature increasing from 5 to 30°C, both germination percentage and rate increased, while it decreased with increasing temperature from 30 to 35°C. Cardinal temperatures of seed germination were estimated by using four regression models including dent-like, segmented, beta modified and beta Models. The best model for estimating cardinal temperatures was dent-like and beta modified models that by used dent-like model the base, under optimal, upper optimal and ceiling temperatures were 0.3, 24.99, 33 and 35.89 °C, respectively, and following beta modified model, the base, optimal and ceiling temperature were 0.2, 26.87 and 35.51°C. For predicting time of germination at different constant temperatures used Thermal-time was used that constant coefficient of Thermal-time was 3191.43 (°Cd).

Key words: Dent-like model, Beta modified model, Cardinal temperatures, Germination and Thermal-time.

\* Corresponding author E-mail: arash.mamedi@ut.ac.ir

### مقدمه

پیاز خوراکی (*Allium cepa*) یکی از مهمترین سبزی‌هایی است که در جهان در سطح وسیع کشت می‌شود و در میان 15 سبزی که به وسیله سازمان خوار و بار جهانی فهرست شده است، رتبه دوم را پس از گوجه‌فرنگی دارد (Naik & Srinivas, 1992). افزون بر ارزش غذایی، بررسی‌های علمی، اثر دارویی قابل ملاحظه این گیاه را اثبات کرده است (Martinez *et al.*, 2007).

جوانه‌زنی بذر به عنوان یکی از حیاتی‌ترین دوره‌ها در چرخه زندگی گیاهان مد نظر می‌باشد. عامل‌های محیطی به طور مستقیم جوانه‌زنی بذر و در پی آن سبز شدن گیاهچه و استقرار پس از آن را تعیین می‌کنند (Fabrizi *et al.*, 2004). دما یکی از مهم‌ترین عامل‌های محیطی در جوانه‌زنی بذرها به شمار می‌آید و می‌تواند بر درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیر بگذارد (Brodford, 2002). با توجه به اینکه دما اثر قابل توجهی در آغاز، درصد و سرعت جوانه‌زنی دارد، همواره از مهم‌ترین عامل‌های تعیین‌کننده موفقیت یا شکست استقرار گیاهچه به شمار می‌رود (Jami Al-Ahmadi & Kafi, 2007).

به طور کلی سه درجه حرارت حداقل، مطلوب و حداکثر به عنوان دماهای بهینه شناخته می‌شوند که قابلیت جوانه‌زنی بذر در این دامنه حرارتی می‌باشد (Jami Al-Ahmadi & Kafi, 2007). دمای حداقل یا پایه، کمترین دمایی است که جوانه‌زنی در آن رخ می‌دهد. دمای مطلوب، دمایی است که جوانه‌زنی در آن بیشترین سرعت را داشته و دمای حداکثر، دمایی است که بذرها در آن قادر به جوانه‌زنی هستند و پروتئین‌های ضروری برای جوانه‌زنی تجزیه می‌شوند، ولی بالاتر از این دما جوانه‌زنی رخ نمی‌دهد (Alvarado & Bradford, 2002). دماهای بهینه برای ارائه مدل پیش‌بینی جوانه‌زنی بذرها در گونه‌های گیاهی مورد نیاز هستند (Soltani *et al.*, 2013).

زمان رسیدن به درصدهای مختلف جوانه‌زنی شاخصی است که به شدت تحت تأثیر شرایط حاکم بر جوانه‌زنی و به ویژه دما قرار می‌گیرد. به طور کلی، دماهای کاردینال جوانه‌زنی، به دامنه سازگاری محیطی گونه

گیاهی بستگی دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی رشد و نمو گیاهچه را تضمین می‌کند (Alvarado & Brodford., 2002). بذرها در دامنه گسترده‌ای از دماها جوانه می‌زنند، اما حداکثر جوانه‌زنی آنها، در آستانه‌های این دامنه به طور چشمگیری کاهش نشان می‌دهد. دامنه دمایی که میزان جوانه‌زنی در آن بیشترین است با توجه به نوع گونه‌ها و کیفیت بذر تغییر می‌کند (Ellis *et al.*, 1986). واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها به دما و شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) برای تهیه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن گونه‌ها و نژادگان (ژنوتیپ)ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا نژادگان‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، بررسی می‌شود (Mwale *et al.*, 1994). انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین جوانه‌زنی بذر گیاه و دما استفاده شده است. از جمله آنها می‌توان به توابع بتا (Beta)، دوتکه‌ای (Segmented)، دندان‌مانند (Dent-like) و بتای تغییر یافته (Beta modified) اشاره کرد که امتیاز این توابع این است که مفاهیم بیولوژیکی مانند دماهای کاردینال و سرعت جوانه‌زنی و شمار ساعت‌های بیولوژیک مورد نیاز برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی بذر را دارد (Jame and Gutforht., 2004). با توجه به اینکه اطلاعات زیادی درباره واکنش جوانه‌زنی این گیاه به زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذر تحت تأثیر دما وجود ندارد، هدف از این بررسی، کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی این گیاه به دما و تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیر خطی است.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرهای گیاه پیاز و نیز تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی، آزمایشی طراحی شد. عامل مورد بررسی، شامل دما در هفت سطح (۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۵) بر حسب درجه سلسیوس در چهار تکرار پنجاه بذری آزمون جوانه‌زنی شدند. این آزمایش در آزمایشگاه کنترل و گواهی بذر

که در آن n: شمار بذرها، N: شمار کل بذرها است. در ادامه با استفاده از رابطه زیر سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد (Maguire, 1962):

$$V_g = \frac{\sum N_i}{D_i}$$

که در این رابطه  $V_g$  سرعت جوانه‌زنی بر حسب شمار بذر در روز،  $N_i$  شمار بذر جوانه زده در هر روز و  $D_i$  روز شمارش است. رابطه تابع چهار مدل رگرسیونی برازش داده شده با سرعت جوانه‌زنی بذر پیاز در جدول (۱) خلاصه شده است. در این روابط T (دمای متوسط روزانه)،  $T_b$  (دمای پایه)،  $T_c$  (دمای سقف)،  $T_0$  (دمای مطلوب)،  $T_{01}$  (دمای مطلوب تحتانی)،  $T_{02}$  (دمای مطلوب فوقانی) و c (فراسنجه یا پارامتر شکل برای تابع بتا است که انحنا را تعیین می‌کند).

پرديس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در قالب طرح کامل تصادفی در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. بذرهاى پیاز درون پتری‌دیش‌هاى با قطر ۹ سانتی‌متر روی دو لایه کاغذ صافى قرار داده شد و با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شد. شمارش بذرهاى جوانه زده به صورت هر روز و تا ۱۴ روز انجام شد. پایان شمارش تا روز ۱۴ بود زیرا در طی ۴۸ ساعت متوالی پس از ۱۴ روز هیچ بذری جوانه نزد و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. در پایان تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در دماهای یادشده در قالب طرح کامل تصادفی و همچنین مقایسه میانگین با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد (Ellis et al, 1986):

$$Gt = (n/N * 100)$$

جدول ۱. توابع چهار مدل رگرسیونی (بتا، بتا تغییر یافته، دندان-مانند و دو تکه‌ای) برازش داده شده با سرعت جوانه‌زنی در دماهای ثابت.

Table 1. Beta, beta modified, segmented and dent-like models that were fitted to germination rate at different constant temperatures

Function	Formula	Reference
Beta	$f(T) = \left( \frac{T - T_b}{T_c - T_b} \right) \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_0} \right) \left( \frac{T_c - T_0}{T_c - T_b} \right)^c$	Yin et al., 1995
Beta modified	$f(T) = \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_0} \right) \left( \frac{T - T_b}{T_c - T_b} \right) \left( \frac{T_c - T_b}{T_c - T_0} \right)^c$	Yan & Hunt, 1999
Dent-like	$f(T) = (T - T_b) / (T_{01} - T_b) \text{ if } T_b < T < T_{01}$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{02}) \text{ if } T_{02} < T < T_c$ $f(T) = 1 \text{ if } T_{01} \leq T \leq T_{02}$ $f(T) = 0 \text{ if } T \leq T_b \text{ or } T_c \leq T$	Piper et al., 1996
Segmented	$f(T) = (T - T_b) / (T_0 - T_b) \text{ if } T_b < T < T_0$ $f(T) = 1 - \left( \frac{T - T_0}{T_c - T_0} \right) \text{ if } T_0 \leq T < T_c$ $f(T) = 0 \text{ if } T \leq T_b \text{ or } T_c \leq T$	Mwale et al., 1994

با روش زیر بدست می آید:

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \right) \sum (Y_{obs} - Y_{pred})^2}$$

همچنین برای انتخاب بهترین و دقیق ترین مدل‌های برازش داده شده (پیش بینی شده) با میزان مشاهده شده از فراسنجه‌های زیر استفاده شد: RMSE: جذر میانگین مربعات خطا است که میزان آن

### نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس اثر معنی دار دما بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر پیاز در سطح ۱ درصد را نشان داد (جدول ۱).

جدول ۲. تجزیه واریانس ویژگی جوانه‌زنی بذر پیاز تحت تیمار دماهای مختلف

Table 2. Analysis variance of germination characteristic affected by different temperatures in Onion seed

(S.O.V)	df	MS	
		Germination (%)	Germination rate (d)
Temperature	6	925.1**	0.00**
Error	21	75.8	0.00
C.V(%)		12.33	7.5

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) میتوان بیان کرد که در دمای ۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی بذر پیاز صفر بود و با افزایش دما از ۵ درجه به ۱۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی بهبود یافت به طوری‌که در دمای ۱۰ درجه ۷۱ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد و سرعت جوانه‌زنی بهبود یافت. حال با افزایش دما به ۱۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت.

با افزایش دما به ۲۰ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی داری نداشت ولی سرعت جوانه‌زنی بهبود یافت. با افزایش دما به ۲۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی به بیشترین حد (۸۵ درصد) و سرعت جوانه‌زنی هم به ۰/۰۱ افزایش یافت. با افزایش دما به ۳۰ درجه سلسیوس ویژگی‌های جوانه‌زنی نسبت به دمای ۲۵ درجه سلسیوس تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

با افزایش دما به ۳۵ درجه سلسیوس ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر پیاز به طور معنی داری کاهش یافت، به طوری که با افزایش دما به ۳۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی به ۴۳ درصد و سرعت جوانه‌زنی به ۰/۰۰۴ کاهش یافت. بنابراین بذر پیاز در محدوده وسیع دمایی از ۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس توانایی جوانه‌زنی را دارد و می‌توان گفت که پیاز به عنوان یک گیاه

در این رابطه،  $Y_{obs}$  (میزان مشاهده شده)،  $Y_{pred}$  (میزان پیش بینی شده) و  $n$  (شمار فراسنجه‌ها) است. ضریب تبیین رگرسیون بین مقادیر پیش بینی و مقادیر مشاهده شده که میزان این فراسنجه به روش زیر به بدست می‌آید:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مورد استفاده، از جذر میانگین مربعات انحرافات برای زمان جوانه‌زنی و ضریب تبیین استفاده شد. هر قدر ضریب تبیین مدل مورد استفاده بیشتر و میزان جذر میانگین مربعات انحرافات کمتر باشد، مدل، درصد تغییرات سرعت جوانه‌زنی را بیشتر توجیه می‌کند.

پیش بینی جوانه زنی پیاز با مدل زمان-دمایی:

در این مدل برای هر سه رقم کینوا برای دماهای زیر مطلوب که شامل شش سطح دمایی ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰) درجهٔ سلسیوس که در شرایط آب مقطر جوانه‌زنی داشتند، برازش داده شد. پس در مدل ترمال‌تایم (TT) در دماهای زیر مطلوب به دادها برازش داده شدند که توابع آن به صورت زیر است (Alvarado & Bradford, 2002):

$$TT_{sub} = (T - T_b)t_g$$

$$Probit_g = [(T - T_b)t_g - \theta_{T(50)}] / \sigma_{\theta}$$

که  $T$  دمای محیط،  $T_b$  دمای پایه و  $t_g$  زمان تا جوانه‌زنی برای  $g$  است که درصد خاصی از جوانه‌زنی است و  $\theta_{\sigma}$  (نشان دهندهٔ انحراف معیار از توزیع نرمال ترمال‌تایم است). با استفاده از این مدل زمان جوانه‌زنی بذر پیاز با توجه به درصد تجمعی جوانه‌زنی در هر از سطوح دمایی، پیش بینی و نمودارها با نرم افزار Excel رسم شد. هدف از این مدل بدست آوردن فراسنجه‌های لازم (دمای پایه، میزان ثابت ترمال‌تایم و سیگما که همان انحراف معیار است) برای پیش بینی زمان جوانه‌زنی بود.

دماها که در آن حداکثر درصد جوانه‌زنی رخ داد، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. واکنش متفاوت مرحله جوانه‌زنی به دمای‌های مختلف به این دلیل است که با افزایش دما تا دمای مطلوب، فعالیت آنزیم‌ها و به تبع آن کارایی واکنش‌های آنزیمی افزایش می‌یابد که این امر بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی را به دنبال دارد. از طرف دیگر، دمای‌های خیلی زیاد و خیلی کم نیز موجب غیر فعال شدن برخی آنزیم‌ها و کاهش سرعت این واکنش‌ها و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Jalilian *et al.*, 2004). تخریب پروتئین‌ها و اختلال در کارایی غشاها از جمله عامل‌هایی است که موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای بیشتر از دمای مطلوب می‌شود (Bradford, 2002). کاهش کارایی متابولیکی بذرها نیز از دیگر عامل‌های کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بیشتر از دمای مطلوب مشاهده شده است (Ueno, 2003).

خوراکی و دارویی قابلیت کشت و سازگاری بالایی دارد. نتایج تحقیقی دیگری نیز کاهش درصد جوانه‌زنی گیاه دارویی اسفرزه را در دماهای بالا گزارش کرده اند (Kebreab & Murdoch, 1999). به طور کلی ملاحظه شد که با افزایش دمای از دامنه حرارتی مطلوب جوانه‌زنی، ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرها کاهش یافت. با افزایش دما تا حد معینی سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و سپس در دماهای بالاتر با شدت بیشتری از سرعت جوانه‌زنی کاسته می‌شود (Mwale *et al.*, 1994) که در این بررسی نیز چنین روندی مشاهده می‌شود. در جوانه‌زنی بذر کاکوتی چند ساله، سرعت جوانه‌زنی شاخص حساس تری نسبت به درصد جوانه‌زنی در تغییرات دمایی است (Kheirkhah *et al.*, 2011) که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. حساسیت درصد جوانه‌زنی به دما کمتر از سرعت جوانه‌زنی بود، به طوری که در دامنه گسترده‌تری از دماها درصد جوانه‌زنی ثابت بود، اما در دامنه‌ای از

جدول ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر پیاز در دماهای مختلف

Table 3. Mean comparison of effect of different temperature on seed germination rate and percentage

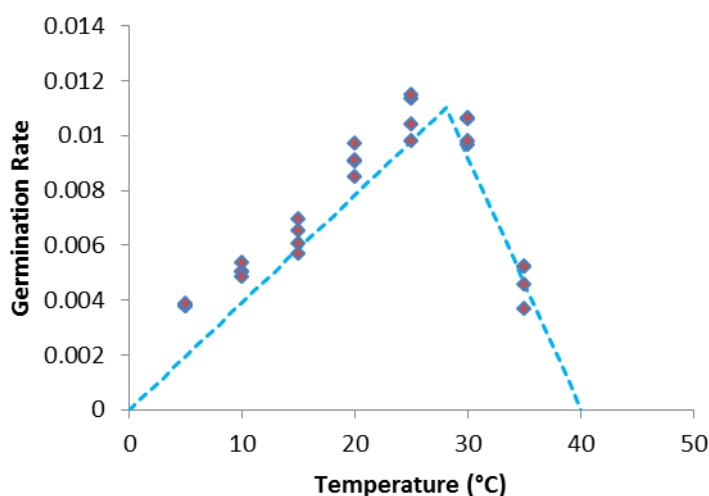
Temperatures (°C)	Germination characteristics	
	Germination (%)	Germination rate (1/h)
5	57BC	0.0038E
10	71AB	0.005 CD
15	81A	0.0063C
20	78A	0.0091B
25	85A	0.0107A
30	79A	0.0102AB
35	43C	0.0046DE

دمای سقف ۴۰ درجه سلسیوس و میزان  $R^2$  و  $RMSE$  به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۰۲ پیش بینی شد که نشان دهنده دقت مناسب این مدل در پیش بینی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر پیاز است. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود سرعت جوانه‌زنی از دمای ۰/۰۲ تا ۲۸ درجه افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. در مدل دندان مانند دمای پایه ۰/۳، دمای مطلوب تحتانی ۲۴/۹۹، دمای مطلوب فوقانی ۳۳ و دمای سقف ۳۵/۸۹ درجه سلسیوس و میزان  $R^2$  و  $RMSE$  به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۰۲ پیش بینی شد که نشان می‌دهد که این مدل نسبت به مدل دو تکه ای،

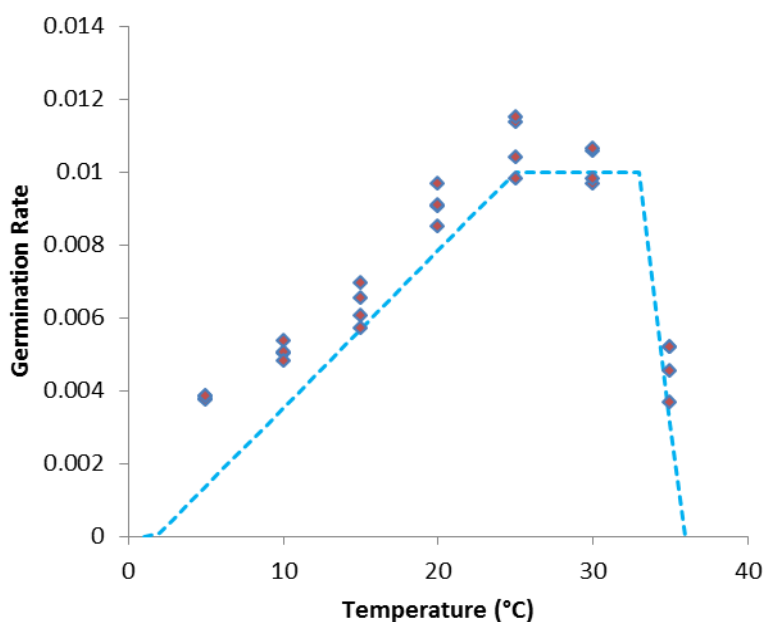
### محاسبه دماهای کاردینال سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه پیاز

کمی سازی واکنش جوانه‌زنی بذرهای پیاز در دماهای مختلف با کمک مدل دو تکه ای، دندان مانند و بتا و بتا تغییر یافته برازش داده شد. مقادیر  $RMSE$  (بذر میانگین مربعات خطا)،  $R^2$  (ضریب تبیین)،  $Tb$  (دمای پایه)،  $T01$  (دمای بهینه تحتانی)،  $T02$  (دمای بهینه فوقانی) و  $Tc$  (دمای سقف) مربوط به هر مدل در دماهای مختلف در جدول (۳) نشان داده شد. در مدل دو تکه ای دمای پایه ۰/۰۲، دمای مطلوب ۲۸ و

برازش بهتری از دماهای کاردینال بذر پیاز دارد. بر اساس این مدل سرعت جوانه‌زنی از دمای ۰/۳ تا ۲۴/۹۹ درجه افزایش یافته و در فاصله بین ۲۴/۹۹ تا ۳۳ درجه ثابت می ماند و پس از آن کاهش می یابد.



شکل ۱. رابطه بین دما (درجه سلسیوس) و سرعت جوانه‌زنی بر اساس مدل دو تکه‌ای  
Figure 1. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate at different constant temperatures to reach 50% germination (R50) using segmented model.



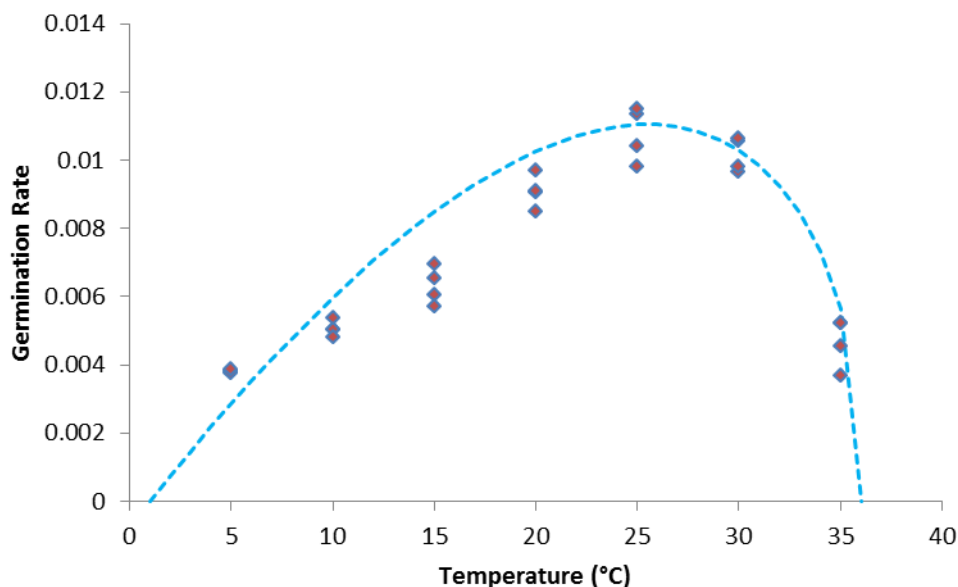
شکل ۲. رابطه بین دما (درجه سلسیوس) و سرعت جوانه‌زنی بر اساس مدل دندان مانند  
Figure 2. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate at different constant temperatures to reach 50% germination (R50) using dent-like models.

دماهای کاردینال بذر پیاز چندان مناسب نیست. در مدل بتای تغییر یافته دمای پایه ۰/۰۲ ، دمای مطلوب ۲۶/۸۷ و دمای سقف ۳۵/۵۱ درجه سلسیوس و  $R^2$  و RMSE به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۰۲ پیش بینی شد.

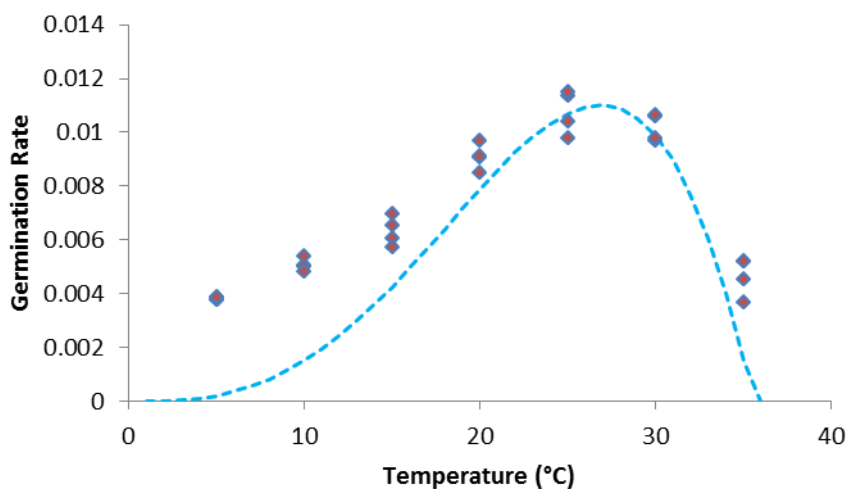
در مدل بتا دمای پایه ۱ ، دمای مطلوب ۲۴/۳۱ و دمای سقف ۳۶ درجه سلسیوس و  $R^2$  و RMSE به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۰۲ پیش بینی شد که نشان می دهد که این مدل نسبت به مدل‌های قبلی در پیش بینی

می‌شود. ( Ganjeali *et al.*, 2006 )، از مدل های بتا، دو تکه ای و دندان مانند برای مدل سازی سبز شدن گیاه نخود در دماها و عمق های مختلف استفاده کردند و مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در پیش بینی سبز شدن این گیاه را معرفی کرده اند.

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که آنچه برتری تابع دندان مانند و بتا تغییر یافته بر دو تابع دیگر را محرز می کند، برخورداری از کمترین RMSE (مجذور میانگین مربعات خطا) و بالاترین ضریب همبستگی می باشد. بر همین اساس، این دو تابع به عنوان تابع برتر در تعیین دماهای کاردینال گیاه پیاز شناخته



شکل ۳. رابطه بین دما (درجه سلسیوس) و سرعت جوانه زنی بر اساس مدل بتا  
 Figure3. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate at different constant temperatures to reach 50% germination (R50) using beta model.



شکل ۴. رابطه بین دما (درجه سلسیوس) و سرعت جوانه زنی بر اساس مدل بتا تغییر یافته  
 Figure3. Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rate at different constant temperatures to reach 50% germination (R50) using beta modified model.

و شرایط اقلیمی که گیاه در آن رشد و نمو می کند،

دمای کاردینال جهت جوانه زنی بذر، به ژنتیک گیاه

صورت گیرد. دمای پایه جوانه زنی برای گونه‌های دارویی شوید (*Anethum graveolens*)، رازیانه (*Trachyspermum*) و زنیان (*Foeniculum vulgare*) را به ترتیب ۵، ۳/۸۶، ۲/۸۸ درجه سلسیوس گزارش شده است (Boroumand Rezazadeh & Koocheki, 2006). از مدل دندان مانند برای تعیین دماهای بهینه دو اکوتیپ آویشن در پاسخ جوانه‌زنی بذر به سطوح مختلف دمایی استفاده شده است (Tolyat et al., 2014).

بستگی دارد. برای بذر اکثر گونه‌های گیاهی، دمای بهینه بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس گزارش شده است (Pourreza et al., 2012). با تعیین دمای‌های کاردینال، امکان ارزیابی محدودیت‌های جغرافیایی گونه‌ها و زمان کشت آن‌ها ممکن می‌گردد (Ramin, 1997). شاید بتوان گفت که دمای حداقل، بهینه و حداکثر برای پیش بینی مراحل رشد و نمو گیاهان زراعی شاخص‌های مناسبی هستند، هر چند که برای تایید این فرضیه نیاز است که آزمایشات متعددی

جدول ۴. فراسنجه‌های پیش بینی شده با استفاده از مدل دو تکه ای، دندان مانند، بتا و بتا تغییر یافته

Table 4. Estimated parameters for the Segmented, Beta, Beta modified and Dent-like models

Model	RMSE	$R^2$	$T_{02}$	$T_{01}$	$T_c$	$T_e$	$T_b$
Segmented	0.02	0.93	-	-	40	28	0.02
Dent-like	0.01	0.96	33	24.99	35.89	-	0.3
Beta	0.02	0.87	-	-	36	24.331	1
Beta modified	0.02	0.97	-	-	35.51	26.87	0.2

#### مدل زمان-دمایی

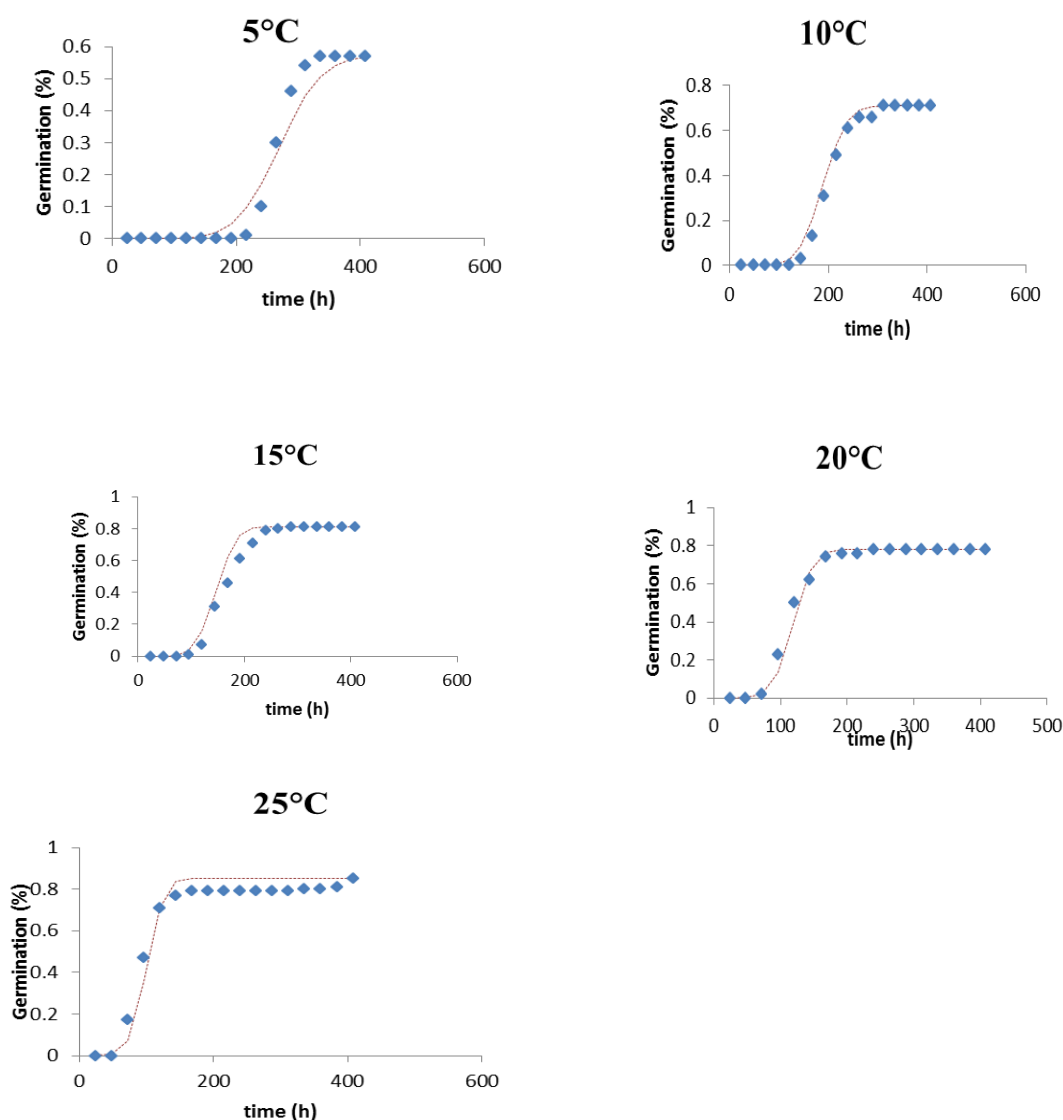
مدل ترمال‌تایم به خوبی قادر به پیش بینی زمان جوانه‌زنی پیاز در دماهای زیر مطلوب و پتانسیل صفر بار (شاهد) بود. میزان ضریب تبیین برابر ۰/۹۸ برای دماهای زیر مطلوب با استفاده از مدل ترمال‌تایم بدست آورده شد که میزان دقت مدل ترمال‌تایم را نشان می‌دهد. میزان دمای پایه برآورد شده با استفاده از برازش مدل ترمال‌تایم ۰/۰۲ درجه سلسیوس بود که با توجه به دمای پایه برازش داده شده با دو مدل دندان مانند و بتا تغییر یافته تفاوت معنی داری ندارند و این نشان دهنده برازش دقیق مدل‌ها با کمی سازی جوانه‌زنی بذر پیاز است. زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی با افزایش دما (از ۵ به ۲۵ درجه سلسیوس در پتانسیل صفر)، کاهش یافت. به هر حال، بیشترین درصد جوانه‌زنی نهایی ۰/۸۵ بود که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بدست آمد. در دماهای پایین‌تر از ۲۵ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی نهایی به تدریج کاهش یافت. علی‌رغم کاهش درصد جوانه‌زنی نهایی در دماهای پایین، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس (به جزء دمای ۲۰ درجه سلسیوس) جوانه‌زنی نسبت به

دماهای پایین‌تر، سرعت بالایی داشت. در دمای ۵ درجه سلسیوس پس از ۲۵۰ ساعت، فقط ۲۰٪ جوانه‌زنی داشت اما در دمای ۲۵ درجه سلسیوس پس از ۱۰۰ ساعت آبنوشی، ۵۰٪ جوانه‌زنی داشت. زیرا ممکن است دمای ۵ درجه سلسیوس به دلیل نزدیک بودن به دمای پایه، ترمال‌تایم تجمعی مورد نیاز برای رسیدن به بالای ۰/۸۰٪ جوانه‌زنی تا ۱۵۰ ساعت کافی نباشد. مدل ترمال‌تایم پیش بینی کرد، هنگامی که بذرها تحت دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس مورد جوانه‌زنی قرار گیرند، به دلیل تجمع کافی ترمال‌تایم، جوانه‌زنی در زمان کمتر نسبت به دماهای پایین‌تر صورت گرفت. تنها تفسیر برای این تفاوت درصد نهایی جوانه‌زنی در دماهای زیر ۲۵ درجه سلسیوس، بیان خواب در دماهای پایین است. منحنی جوانه‌زنی-زمان بدست آمده تحت شرایط آزمایشگاهی در دماهای مختلف در برابر منحنی‌های جوانه‌زنی-زمان پیش بینی شده تحت برازش مدل ترمال‌تایم و فراسنجه‌های موجود در جدول، به طور جداگانه در دماهای مختلف مقایسه شده است. از مدل ترمال‌تایم برای پیش بینی دماهای پایه و



فراسنجه‌ها زیاد شده است (Kebearab & Murdoch, 1999). نتیجه گیری کلی این بود که جوانه‌زنی در دماهای پایین موجب ایجاد خواب در کسری از بذرها می‌شود و این نتیجه با نتایج Windauer *et al.*, (2012) که روی بذر جاتروفا (*Jatropha curcas*) در پنج سطح دمایی استفاده کرده بودند، همخوانی دارد به طوری که بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی برای این گیاه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با استفاده از مدل ترمال‌تایم پیش بینی شد.

ضریب ثابت ترمال‌تایم یازده ارقام مختلف گوجه فرنگی در دماهای زیر مطلوب استفاده شده و میزان ضریب تبیین آن‌ها ( $R_2$ ) از بین ۰/۸۶ و ۰/۹۸ متغیر بوده است (Cheng & Bradford, 1999). از مدل ترمال‌تایم برای تعیین انحراف معیار، دمای پایه و ضریب ثابت ترمال‌تایم گیاه گل جالیز (*Orobancha aegyptiaca*) در پتانسیل‌های مختلف رطوبتی استفاده شده است و گزارش شده که میزان ضریب ترمال‌تایم، دمای پایه و انحراف معیار در پتانسیل صفر کمتر بوده و با کاهش پتانسیل اسمزی میزان این



شکل ۵. جوانه‌زنی تجمعی در دماهای ۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس و پتانسیل صفر. علائم درصد جوانه‌زنی مشاهده شده است و خطوط درصد جوانه‌زنی پیش بینی شده با مدل ترمال‌تایم بر اساس فراسنجه‌های جدول ۵ را نشان می‌دهد.

Figure 5. Germination progress curves incubated in water potential of 0 MPa at constant temperature of 5-25 °C. the line were fitted by Thermal-time model.

جدول ۵. تخمین فراسنجه‌های مدل ترمال‌تایم برای پیش بینی پاسخ جوانه‌زنی پیاز به دماهای زیر مطلوب.

Table 5. parameter estimates by Thermal-time model to fit germination progress curves at different constant temperatures.

cultivar	Sub-Optimal	Tb (°C)	θT (°Ch)	σ θT (°Cd)	R2
Sajama	5-25(°C)	0.02	3191.43	653.59	0.98

مطلوب، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش و پس از آن کاهش یافت. همچنین حساسیت درصد جوانه‌زنی به دما کمتر از سرعت جوانه‌زنی بود. ضریب ثابت ترمال تایم برابر ۳۱۹۱/۴۳ درجه سلسیوس بر ساعت پیش-بینی شد. مدل معرفی شده و ضرایب برآورد شده در مدل‌سازی واکنش جوانه‌زنی مفاهیم بیولوژیکی دارند و بسیار با ارزشمند هستند.

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، از بین چهار مدل رگرسیون غیر خطی، دو مدل دندان‌مانند و بتای تغییر یافته به عنوان دو مدل برتر در کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه پیاز به دما تعیین شدند. دماهای کاردینال گیاه پیاز تعیین شد به طوری که دمای پایه ۰/۲ درجه سلسیوس و دمای سقف ۳۵/۵۱ درجه سلسیوس برآورد شد. با افزایش دما تا دمای

### REFERENCES

- Alvarado, V. & Bradford, K.J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environment*, 25, 1061-1069.
- Boroumand Rezazadeh, Z. & Koocheki, A. (2006). Evaluation of cardinal temperature for three species of medicinal plants, Ajowan (*Trachyspermum ammi*), Fennel (*Foeniculum vulgare*) and Dill (*Anethum graveolens*). *Biaban Desert Journal*, 11(2), 11-16. (In Farsi)
- Brodford, K. J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260.
- Cheng, Z. & Bradford, K. J. (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *Journal of Experimental Botany*, 50(330), 89-99.
- Ellis, R.H., Covell, S., Roberts, E.H. & Summerfield, R.J. (1986). The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of experimental botany*, 37, 1503-1515.
- Ganjeali, A., Parsa, M. & Khatib, M. (2006). Quantifying seed germination response of Chickpea genotypes under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Water, Soil and Plant in Agriculture*, 8(1), 12-17. (In Farsi)
- Jame, Y.W. & Cutforth, H.W. (2004). Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3), 207-218.
- Jami Al-Ahmadi, M. & Kafi, M. (2007). Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). *Journal of Arid Environment*, 68, 308-314.
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Taval afshar, R., Rahimian, R., Abdollahian, H. & Gohari, J. (2004). Evaluation of basic temperature and germination trend for monogerm sugar beet at different temperature. *Sugar Beet*, 20(2), 97-112.
- Kebreab, E. & Murdoch, A. J. (1999). Modelling the effects of water stress and temperature on germination rate of (*Orobancha aegyptiaca*) seeds. *Journal of Experimental Botany*, 50(334), 655-664.
- Kheirkhah, M., Koocheki, A., Rezvani Moghadam, P. & Nasiri Mahallati, M. (2011). Determination cardinal temperature for perennial medicinal plant Kakooti germination (*Ziziphora clinopodioides* Lam.). *Iranian Journal of water, soil and plant in Agriculture*, 8(1), 18-25. (In farsi).
- Maguire J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Martinz, M.C., Corzo, N. & M. Villiamiel. (2007). Biological properties of onion and garlic. *Trends in Food Science Technology*, 18, 609-625.
- Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G. & Chatha, M. R. (1994). Effect of temperature on germination of sunflower. *Seed Science and Technology*, 22, 565-571.
- Naik L.B. & Srinivas K. (1992). Seed production of vegetable crops-onion-A Review. *Agricultural Review*, 13, 59-80.

16. Piper, E. L., Boote, K. J., Jones, J. W. & Grimm, S. S. (1996). Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*, 36, 1606–1614.
17. Pourreza, J., & Bahrani, A. (2012). Estimating cardinal temperatures of milk thistle (*Silybum marianum*) seed germination. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 12, 1485-1489.
18. Ramin, A. A. (1997). The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium ampeloprasum* L. spp. *iranicum* W.). *Seed Science and Technology*, 25, 419-426.
19. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F. & Zeinali, E. (2013). Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. *Journal of Plant Production*, 20 (1), 1-16.
20. Tabrizi, L., Nasiri Mahalati, M. & Kochaki, A. (2004). Investigation on the cardinal temperature for germination of *Plantago ovate* and *Plantago psyllium*. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 2, 143-151. (in Farsi)
21. Tolyat, M. A., Tavakkol Afshari, R., Jahansoz, M. R., Nadjafi, F. & Naghdibadi, H. A. (2014). Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*. *Seed Science and Technology*, 42, 28-35.
22. Ueno, K. (2003). Effect of Temperature During of Immature Seed Germination. *Seed Science and Technology*, (31), 587-595.
23. Windauer, L. B., Martinez, J., Rapoport, D., Wassner, D., & Benech-Arnold, R. (2012). Germination responses to temperature and water potential in *Jatropha curcas* seeds: a hydrotime model explains the difference between dormancy expression and dormancy induction at different incubation temperatures. *Annals of botany*, 109(1), 265-273.
24. Yan, W. & Hunt, L. A. (1999). An Equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, 84, 607-614.
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, 1-16.