

## بر آورد دماهای کاردینال بذر همیشه بهار (*Calendula officinalis* L) به روش رگرسیون غیر خطی

نبی خلیلی اقدم<sup>۱\*</sup>، تورج میرمحمودی<sup>۲</sup> و غلامرضا بخشی خانیکی<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

۳. استاد گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۰)

### چکیده

درجه حرارت یکی از مهم ترین عوامل محیطی موثر بر جوانه زنی بذور محسوب می شود و بنابراین اثر متقابل دمای محیط و جوانه زنی یکی از عوامل اصلی در پیش بینی زمان جوانه زنی و بویژه مدلسازی است. به این منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار و ۱۱ سطح تیمار دما (۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتیگراد) روی بذور همیشه بهار در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه اسلامی واحد مهاباد اجرا درآمد. به منظور تعیین دماهای کاردینال سه مدل رگرسیون غیر خطی تابع دو تکه ای، تابع بتا و تابع ۵ پارامتره بتا مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تاثیر دما بر سرعت، درصد و یکنواختی جوانه زنی بذر معنی دار بود. بالاترین درصد و یکنواختی جوانه زنی در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد مشاهده گردید، درحالیکه بیشترین سرعت جوانه زنی در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد بدست آمد. اگرچه اختلاف چندانی بین مدل های برازش یافته در تخمین دماهای کاردینال وجود نداشت ولی مدل دو تکه ای بواسطه دارا بودن کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات و بیشترین ضریب تبیین و ضریب همبستگی بهترین مدل برای تخمین دماهای کاردینال همیشه بهار در نظر گرفته شد. بنابراین دمای پایه جوانه زنی گیاه همیشه بهار ۳/۳۵، دمای مطلوب ۲۰/۸۴ و دمای سقف ۴۰/۹۴ درجه سانتیگراد بدست آمد ضمن اینکه ماکزیمم سرعت جوانه زنی نیز (۰/۱۰)  $r_{max}$  بر ساعت) بود.

**کلمات کلیدی:** سرعت جوانه زنی، دمای کاردینال، مدل، همیشه بهار

## The Estimation of cardinal temperatures in common Marigold (*Calendula officinalis* L.)

N. Khaliliaqdam<sup>1\*</sup>, T. Mir-Mahmoodi<sup>2</sup> and Gh. Bakhshi Khaniki<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University

2. Assistant Professor of Agronomy and Plant Breeding Department Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

3. Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University

(Received: 25.Oct. 2016 – Accepted: 28. Feb. 2017)

### Abstract

Temperature is one of the most effective and important environmental agents on seed germination, thus interaction effect of germination with temperature is very important in prediction of germination time and modeling especially. A completely randomized design experiment performed in seed research laboratory of Islamic Azad University, Mahabad Branch with four replications which temperature treatment were 11 levels as: 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45 °C. Three nonlinear regression models as Beta, 5-Parametric Beta and Segmented functions tested. Results revealed that temperature had a significant effects of rate, uniformity and germination percent. The highest uniformity and germination percentage were detected in 15 °C, but the highest value of rate of germination obtained in 20 °C. Although, there was no significant difference between practiced models in estimation of cardinal temperatures, however, the segmented model which had the less RMSE, CV and the more R<sup>2</sup> and correlation coefficients than the others, was a better model and thus, cardinal temperatures including base, optimum and ceiling temperatures were 3.35, 20.84 and 40.94 °C, respectively. Also, the maximum germination rate ( $r_{max}$ ) was 0.010 h<sup>-1</sup>.

**Key words:** Germination rate, Cardinal temperature, Model, Common Marigold

\* Email: nkhaliliaqdam@yahoo.com

## مقدمه

در واکنش به دما ارائه شده است. برخی از این مدل‌ها برای پیش بینی دماهای کاردینال از واکنش جوانه زنی تجمعی به سطوح مختلف دما (Hardegree and Winstal, 2006) و تعدادی دیگر از رابطه بین دما و سرعت جوانه زنی برای تخمین دماهای کاردینال استفاده می‌کنند (Ramin, 1997). مدل خطوط متقاطع (Ahmadi et al., 2010)، مدل پنج پارامتری بتا (Tabrizi et al., 2007)، مدل لجستیک (Lopez et al., 2008; Cho et al., 2012) و مدل‌های دو تکه‌ای و دندان مانند (Soltani et al., 2006) از جمله مدل‌های معروف مورد استفاده در تعیین دماهای کاردینال براساس پاسخ سرعت جوانه زنی به دما به شمار می‌آیند. محمودی و همکاران (Mahmoodi et al., 2008) نشان دادند که توابع رگرسیونی دندان مانند و دو تکه‌ای بهترین معادلات رگرسیون غیر خطی برای تعیین دماهای کاردینال بذر یونجه حلزونی هستند. قادری فر و همکاران (Ghaderi-Far et al., 2010) نیز در بررسی واکنش جوانه زنی و سبز شدن شبدر شیرین به اثر فاکتورهای محیطی از مدل دو تکه‌ای استفاده کرده‌اند.

در زمینه تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاهان زراعی و دارویی و سطح واکنش سرعت جوانه‌زنی آن‌ها به رژیم‌های متفاوت دمائی مطالعات نسبتاً فراوانی صورت گرفته است که از آن جمله این گیاهان می‌توان به برنج (Sabouri et al., 2011)، کدوی تخم کاغذی و سیاه دانه (Ghaderi-Far et al., 2009)، اسفزه (Tabrizi et al., 2004)، کاسنی (Balendari et al., 2011)، ارقام مختلف گندم (Ahmadi et al., 2010; Zeinali et al., 2010)، کوشیا (Sabouri-Rad et al., 2011) علف گندمی (Hardegree, 2006)، فلفل (Cho et al., 2012) و خاکشیر (Poureza and Bahrani, 2012)، تره ایرانی (Golzar et al., 2008)، رازیانه (Ranjbar et al., 2013)، علف خرچنگ (Pour-tossi et al., 2008)، چغندر قند (Jalilian et al., 2005)، کاسنی (Balendari et al., 2011)، اشاره داشت. گیاه دارویی همیشه بهار از خانواده Asteraceae یکی از معروف‌ترین گیاهان دارویی است

جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس و بحرانی در چرخه زندگی گیاهان است (Forcella et al., 2000). تراکم مطلوب بوته در واحد سطح زمانی قابل حصول است که بذرهای کاشته شده بطور کامل و با سرعت کامل جوانه بزنند. در صورتی که رطوبت و اکسیژن در حد کفایت فراهم باشد، ویژگی بذر غیر راکد (سرعت و درصد جوانه‌زنی) توسط درجه حرارت تعیین می‌شود (Ramin, 1997). درجه حرارت یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر جوانه‌زنی بذور محسوب می‌شود (Bradford and Still, 2002) و بر درصد و سرعت جوانه‌زنی اثر گذار است (Gholami-Tilebeni et al., 2011). مطالعات 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 درجه دما به ترتیب دمای پایه یا مینا و دمای حداکثر یا 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 جوانه زنی در یک دامنه دمایی معین را به دست می‌دهد (Zeinali et al., 2010; Mahmoodi et al., 2008).

از آنجائی که دماهای کاردینال یکی از ورودی‌های اصلی بسیاری از مدل‌های شبیه سازی رشد و نمو گیاهان زراعی هستند و در پیش بینی زمان تا وقوع یک دوره خاص فنولوژیکی حایز اهمیت هستند و اینکه تعیین دمای کاردینال در تعیین دقیق تاریخ کشت محصولات و تخمین محدوده جغرافیائی مطلوب برای کشت یک گیاه بسیار مطلوب تلقی می‌گردد (Mohmoodi et al., 2008). لذا مدل‌های ریاضی متعددی برای توصیف الگوی جوانه زنی

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

$$GU= D90-D10 \quad (2)$$

که در آن R50 سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت)، زمانی - که جوانه زنی به ۵۰ درصد حداکثر مقدار خود می‌رسد و D90, D50, D10 زمان تا رسیدن درصد جوانه زنی جوانه زنی به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر مقدار خود و GU یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) است. تاثیر دما بر جوانه زنی و رشد گیاهچه را می‌توان بر حسب دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف) بیان نمود. به‌منظور توصیف دما و سرعت جوانه‌زنی و برآورد دماهای کاردینال از مدل‌های رگرسیون غیرخطی تابع دوتکه‌ای، تابع بتا و تابع ۵ پارامتره بتا استفاده گردید که پس از برازش این مدل، دماهای کاردینال جوانه‌زنی منداب محاسبه شدند.

۱- تابع دو تکه‌ای با علامت اختصاری (Segmented) معادله آن به صورت زیر است (Soltani *et al.*, 2006):

$$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b) \quad \text{if } T_b < T \leq T_o$$

$$f(T) = 1 - ((T_c - T) / (T_c - T_o)) \quad \text{if } T_o < T \leq T_c$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T < T_b \text{ or } T > T_c$$

۲- تابع بتا با علامت اختصاری (Beta) معادله آن به صورت زیر است (Soltani *et al.*, 2006):

$$f(T) = \left[ \left( \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right) \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_o} \right) \right] \left( \frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)^\alpha \quad \text{if } T > T_b \text{ and } T < T_c$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

۳- تابع ۵ پارامتره بتا با علامت اختصاری (Five Beta Parametric) معادله آن به صورت زیر است (Yin, 1996):

که به منظور استفاده از عصاره آن در طب سنتی و گیاه درمانی مورد مطالعه قرار گرفته و از این منظر کشت و پرورش آن دارای اهمیت بسزائی است. آنجائی که بررسی واکنش جوانه زنی و سبزشدن بذرها نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال در جهت ایجاد مدل‌های پیش بینی جوانه زنی و سبزشدن، انتخاب تاریخ مناسب کاشت، گزینش گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، مفید است (Mwal *et al.*, 1994; Ramin, 1997)، تحقیق حاضر بنا به چنین ضروریاتی در مورد گیاه همیشه بهار با اجرا درآمد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار و ۱۱ سطح تیمار دما (۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتیگراد) با اجرا درآمد. از هر تیمار ۵۰ عدد بذر در داخل پتری دیش محتوی دو لایه کاغذ واتمن در داخل انکوباتور قرار گرفت و بازدیدها بسته به سطح دمائی از هر ۱۵ دقیقه برای دماهای بالا (۴۰ و ۴۵ درجه) تا فواصل زمانی ۱۲ و ۲۴ ساعت برای دماهای کمتر (۳ و ۵ درجه) صورت گرفت. معیار بذور جوانه‌زده، خروج ریشه چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر در نظر گرفته شد و در طول دوره آزمایش در صورت نیاز آب مقطر اضافه شد. برای محاسبه درصد و سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی از برنامه Germin (Soltani and Maddah-Yazdi, 2010) استفاده شد. این برنامه پارامتر سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی برای هر تکرار و هر تیمار دمائی را از طریق درون یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند و در آن سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی عبارت است از (Soltani *et al.*, 2002):

دماهایی که جوانه‌زنی انجام شد، کمترین یکنواختی جوانه‌زنی در دماهایی اتفاق افتاد که دارای سرعت جوانه‌زنی بالاتری بودند (دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد).

به نظر می‌رسد کاهش درصد جوانه‌زنی در دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در بذره‌های این گیاه، بیانگر وقوع شرایطی است که کاپلند و دونالد در خصوص تغییرپذیری (Copeland and McDonald, 1995) پروتئین‌های ضروری با افزایش دما در بذر بیان نموده‌اند. گزارشات متعدد حاکی از اثر افزایشی دما تا محدوده خاصی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها می‌باشند (Bannayan *et al.*, 2006; Hardegree and Winstral, 2006). از طرفی افزایش دما علاوه بر اثرات یاد شده می‌تواند زوال بذر را نیز بدنبال داشته باشد (Haedegree, 2006). به‌طور کلی دما بدلیل اثر آن بر خواب، سرعت جوانه‌زنی و سرعت نهائی جوانه‌زنی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Bradford, 2002). موال و همکاران (Mwal *et al.*, 1994) نیز نشان دادند که با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی حداقل در یک دامنه دمائی بطور خطی افزایش می‌یابد و در دماهای بالاتر از آن سریعاً افت پیدا می‌کند.

$$f = \exp^{\mu} (T - T_b)^a (T_c - T)^{\beta}$$

$$T_o = (aT_c + \beta T_b)(a + \beta)$$

که در آن  $T_b$  دمای پایه،  $T_o$  دمای مطلوب،  $T_c$  دمای سقف و  $f(T)$  تابع دمائی سرعت جوانه‌زنی و  $a$  و  $\beta$  و  $\mu$  ضرایب رگرسیون هستند. تجزیه آماری با استفاده از رویه Proc nlin در محیط برنامه آماری SAS (SAS, 2001) و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون PLSD در سطح احتمال ۵ درصد در طرح پایه کاملاً تصادفی انجام گردید.

## نتایج و بحث

نتایج تاثیر سطوح مختلف دما بر جوانه‌زنی بذر همیشه بهار نشان داد که تاثیر دما بر هر سه مولفه درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) بود (جدول ۱). کمترین درصد نهائی جوانه‌زنی در دماهای پائین ۳، ۵ و دماهای بالای ۴۰ و ۴۵ درجه سانتیگراد بدست آمد و به همین ترتیب بالاترین درصد نهائی جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد مشاهده شد (شکل ۱). مشابه با تاثیر دما بر درصد جوانه‌زنی، کمترین سرعت جوانه‌زنی در دماهای ۳، ۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتیگراد اتفاق افتاد (جدول ۲) اما بطور متفاوت تر بیشینه سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد بدست آمد و هم چنانکه قابل انتظار بود در بین

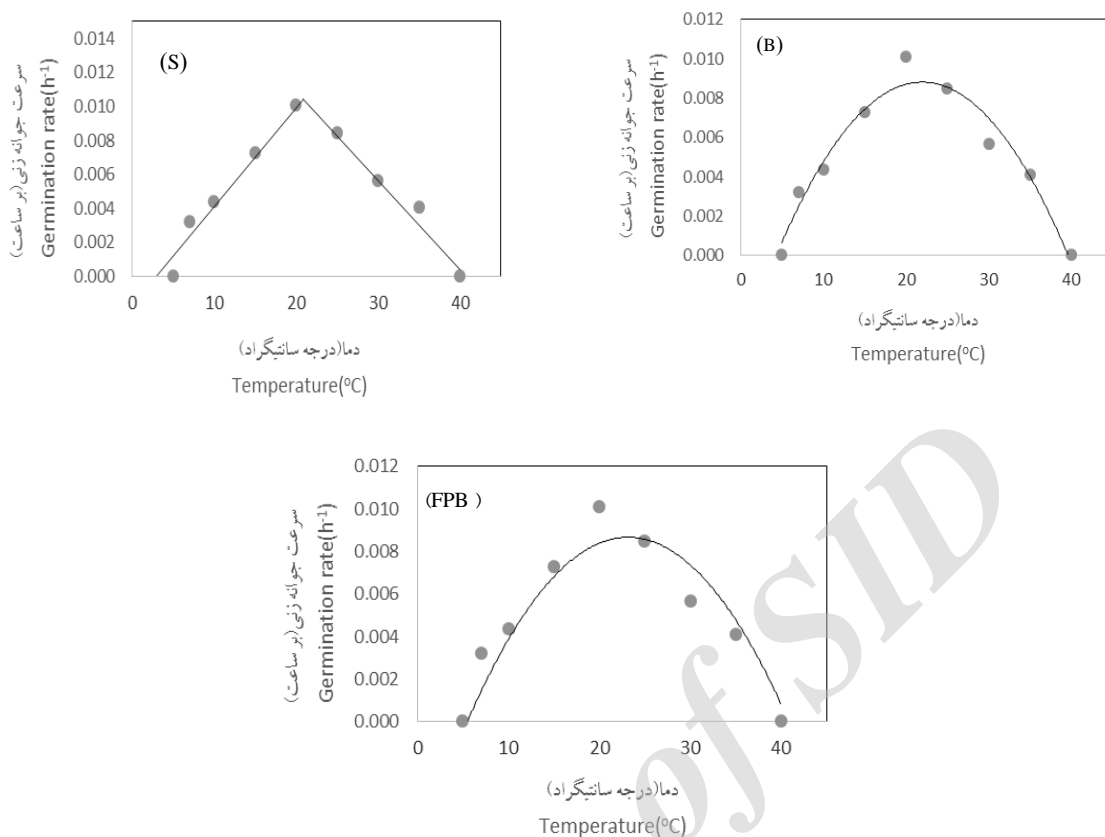
جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دماهای متناوب بر سرعت، درصد نهایی و یکنواختی جوانه‌زنی بذر همیشه بهار.

Table 1: Analysis of variance for effect of alternative temperature on percent, rate and uniformity of germination in linum.

منبع تغییرات	درجه آزادی df	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	درصد نهائی جوانه‌زنی Germination rate	سرعت جوانه‌زنی Germination
دما (Temperature)	10	53046.66**	3131.11**	0.00002**
خطا (Error)	43	738.23	8.62	0.0000001
ضریب تغییرات (CV)		14.16	8.88	13.74

\*\* : Significantly on 0.01 probability level

\*\*\*: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱: پاسخ سرعت جوانه زنی به سطوح مختلف دمائی در مدل‌های مختلف سیگموئیدی (S)، بتا (B) و پنج پارامتره بتا (FPB).  
 Figure 1: Response of germination rate to different thermal levels in various models Segmented (S), Beta (B), and Five Parameter Beta (FPB).

جدول ۲: مقایسه میانگین درصد، سرعت و یکنواختی جوانه زنی.

Table 2: Mean comparisons for percentage, rate and uniformity of germination

دما (درجه سانتیگراد) Temperature (°C)	یکنواختی جوانه زنی (ساعت) Germination uniformity (h)	سرعت جوانه زنی (بر ساعت) Germination rate (1/h)	درصد جوانه زنی Germination (%)
3	0.0 e	0.0 f	0.0 e
5	0.0 e	0.0 f	0.0 e
7	344.1 a	0.0032 e	25 d
10	280.95 ab	0.0044 de	40 c
15	160.0 cd	0.0072 bc	75 a
20	150.15 d	0.0101 a	65 ab
25	159.60 cd	0.0085 ab	57 b
30	176.75 cd	0.0056 cd	25 d
35	241.2 bc	0.0042 de	10 e
40	0.0 e	0.0 f	0.0 e
45	0.0 e	0.0 f	0.0 e
PLSD(0.05)	85.72	0.0021	13.89

جوانه‌زنی در مقابل دما جهت تعیین بهترین مدل، از پارامترهای مختلف ارزیابی از جمله ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و معنی‌دار بودن یا نبودن ضرایب رگرسیون عرض از مبدا برازش مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر شبیه سازی شده استفاده شد. معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب a یا b در رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، موید بالا بودن خطای مدل در پیش‌بینی آن است بعبارت ساده تر ضریب a معنی‌دار به این معناست که عرض از مبدا خط رگرسیون با عرض از مبدا خط ۱:۱ مطابقت ندارد و ضریب b معنی‌دار نیز به این مفهوم است که شیب خط رگرسیون با خط ۱:۱ مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب معنی‌دار است (Soltani *et al.*, 2006). بنابراین هر چه نقاط به خط ۱:۱ در منحنی رگرسیون نزدیک‌تر باشند، کارایی بالاتر مدل را نشان می‌دهد. از طرفی پایین بودن مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات و در مقابل بالا بودن ضریب تبیین و ضریب همبستگی همگی از جمله شاخص‌های مهم در تعیین کارایی مدل بحساب می‌آیند (Khaliliaqdam *et al.*, 2014).

کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر همیشه بهار به سطوح مختلف با استفاده از سه تابع بتا، دو تکه‌ای و تابع ۵ پارامتره بتا نیز نشان داد اختلاف چندانی بین سه تابع فوق از جهت برآورد دماهای پایه و سقف وجود نداشت (جدول ۳). به این ترتیب که در مدل بتا دمای پایه، مطلوب و بیشینه برابر ۴/۷، ۲۰/۸۷ و ۴۰/۴ درجه سانتیگراد برآورد گردید ضمن آنکه ماکزیمم سرعت جوانه‌زنی نیز ۰/۰۰۹ بر ساعت بود. در مدل ۵ پارامتره بتا با اختلاف نه چندان زیاد نسبت به مدل بتا، دمای پایه ۴/۷ درجه سانتیگراد، دمای مطلوب ۲۰/۸۱ درجه سانتیگراد و دمای بیشینه ۴۰/۴۱ درجه سانتیگراد بدست آمد و در مدل دو تکه‌ای نیز مقادیر دمای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و بیشینه به ترتیب عبارت بودند از: ۳/۳۵، ۲۰/۸۴ و ۴۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد. تعیین دمای پایه گیاهان می‌تواند با هدف بهبود سازگاری به محیط‌های با دمای کم یا زیاد در مرحله جوانه‌زنی بسیار مفید باشد و در این رابطه مطالعه ژنوتیپ‌هایی با سازگاری اکولوژیکی متفاوت تر از مناطق اقلیمی گوناگون می‌تواند قابل دست‌یابی باشد (Zeinali *et al.*, 2010).

پس از برازش مدل‌های مختلف برای توصیف سرعت

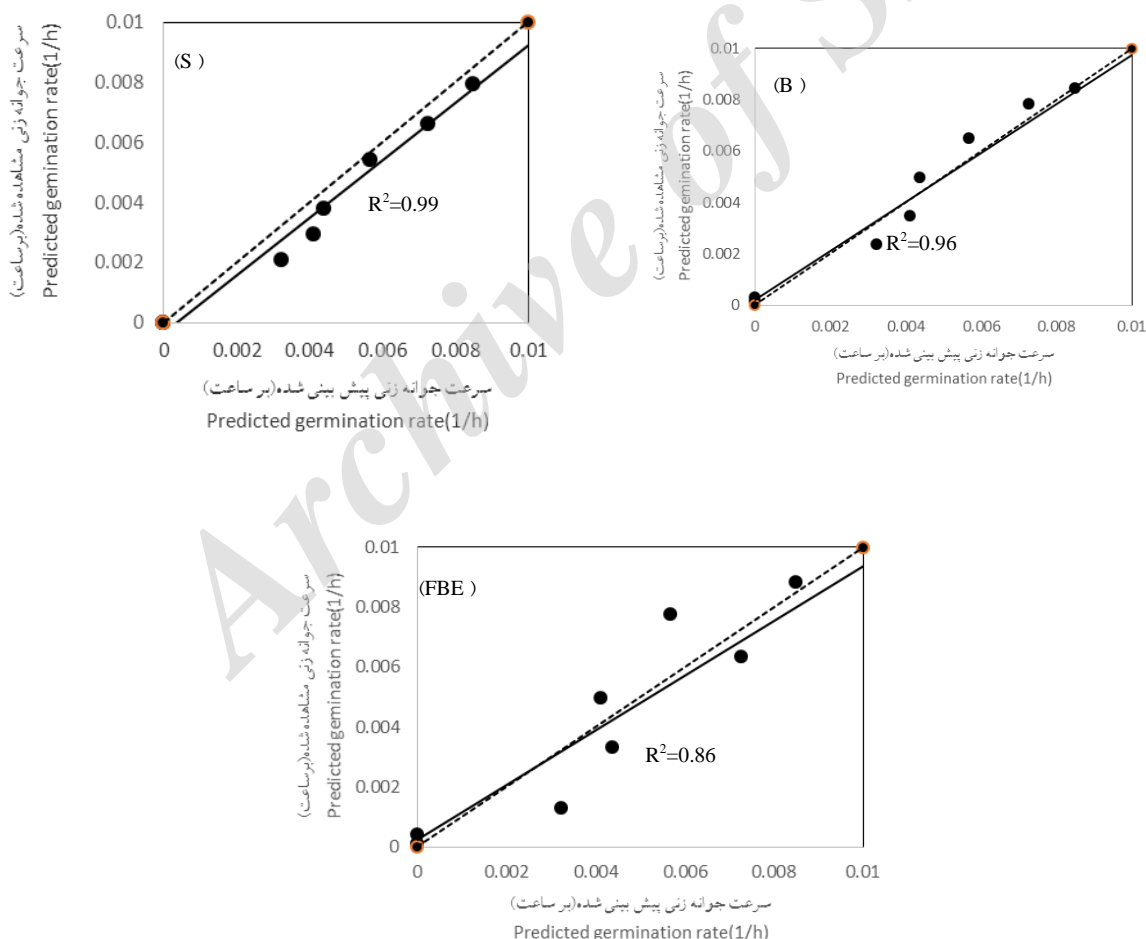
جدول ۳: مقادیر دماهای کاردینال، حداکثر سرعت جوانه زنی، ضرایب معادلات و سطح معنی‌داری مدل‌های مختلف در همیشه بهار.

Table 1- Cardinal temperatures, germination rate maximum, equations coefficients and significant level of various models.

مدل ۵ پارامتره بتا	$P_{\text{model}}$	$T_c$	$T_o$	$T_b$	b	a	$\mu$
5-Parametric beta model	0.0007	40.41 ±2.33	20.81 ±---	4.7 ±1.13	1.24±0.47	1.02 ±0.34	-11.25 ±2.36
مدل بتا	$P_{\text{model}}$	$T_c$	$T_o$	$T_b$	$r_{\text{max}}$	a	
Beta model	0.0006	40.40 ±2.28	20.87±1.14	4.71 ±1.09	0.009 ±0.0006	1.028±0.337	
مدل دو تکه‌ای	$P_{\text{model}}$	$T_c$	$T_o$	$T_b$	$r_{\text{max}}$		
Segmented model	0.0004	40.94 ±1.34	20.84±1.01	3.35 ±1.03	0.010 ±0.0005		

(جدول ۴). تیریزی و همکاران (۲۰۰۷) نیز با ارزیابی مدل‌های مختلف جوانه‌زنی بر روی دو توده زراعی و طبیعی آویشن خراسانی نشان دادند که مدل پنج پارامتری بتا بهترین برازش را در خصوص بذره‌های توده طبیعی این گیاه دارد. همچنین دری و همکاران (۲۰۱۴) مدل دو تکه‌ای را بعنوان مدل بهتر برای برآورد دماهای کاردینال گیاه ماریتیغال معرفی نمودند. صبوری راد و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که مدل ۵ پارامتره بتا بخوبی قادر به تخمین دمای کاردینال جوانه‌زنی کوشیا است.

با وجودی که شیب رگرسیون سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در مقابل سرعت جوانه‌زنی شبیه سازی شده در هر سه مدل معنی‌دار بود و این به معنی اریب دار بودن خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ است اما عرض از مبدا خط رگرسیون در هر سه مدل با عرض از مبدا خط ۱:۱ مطابقت داشت (شکل ۲). از طرفی در مقایسه سایر پارامترهای تعیین کننده قابلیت برازش بهتر مدل‌ها با همدیگر، مدل بهتر، مدل دو تکه‌ای انتخاب گردید زیرا دارای مقادیر کمتر ضریب تغییرات (۹/۱۷)، ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۰۴۴) و مقادیر بالاتر ضریب تبیین (۰/۹۸) و ضریب همبستگی (۰/۹۹،  $P < 0.01$ ) بود



شکل ۲: مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده سرعت جوانه زنی در مدل‌های مختلف سیگموئیدی (S)، بتا (B) و پنج پارامتره بتا (FPB).

Figure 2: Predicted and observed values of germination rate in various models Segmented (S), Beta (B), and Five Parameter Beta (FPB).

جدول ۴- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، و ضریب تبیین ( $R^2$ )، عرض از مبدا (a)، شیب رگرسیون (b)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تغییرات (CV) در مدل‌های مختلف.

Table 4: Root mean square error (RMSE), coefficients of determination ( $R^2$ ), intercept (a), regression slope (b), correlation coefficient (r) and coefficient variation (CV) in different models.

مدل (Model)	Mean±Se	b±Se	a±Se	r	$R^2$	RMSE	CV
بتا (Beta)	0.0048±0.0034	1.006±0.077**	0.000041±0.00024	0.98**	0.96	0.00074	15.55
۵ پارامتره بتا (5-Parametric Beta)	0.0026±0.0026	0.936±0.144**	0.00048±0.0008	0.92**	0.85	0.0014	29.34
دو تکه‌ای (Segmented)	0.0042±0.0033	1.027±0.046**	0.00041±0.00024	0.99**	0.98	0.00044	9.17

دمایی مقدار هر دو مولفه رو به کاهش می‌گذارد و رد همین راستا مدل دو تکه‌ای بطور قابل قبول تری نسبت به دو تابع دیگر قادر به برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر است.

### نتیجه‌گیری

نتایج بطور کلی نشان داد که با افزایش دما تا محدوده ۱۵-۲۵ درجه سانتیگراد سرعت و درصد جوانه‌زنی افزایش سریعی پیدا می‌کند با افزایش دما پس از این دامنه

### References

### منابع

- Ahmadi, M., B. Kamkar, A. Soltani and E. Zeinali, 2010.** Evaluation of non-linear regression models to predict stem elongation rate of wheat (Tajan cultivar) in response to temperature and photoperiod. (In Persian, with English Abstract). *Electron. J. Crop Prod.* 2(4): 39-54. (In Persian).
- Balendari, A., P. Rezwani-Moghaddam and M. Nasiri Mahallati, 2011.** Determination of cardinal temperature of seed germination of *Cichorium pumilium* Jacq. The second int. conf. of seed sciences and technology, Azad university of Mashhad. (In Persian).
- Bannayan, M., F. Nadjafi, M., Rastgoo and L. Tabrizi, 2006.** Germination properties of some wild medicinal plants from Iran. *J. Seed Technol.* 28: 80-86.
- Bradford, K. J. 2002.** Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50: 248-260.
- Bradford K.J. and D. W. Still, 2002.** Applications of Hydro time Analysis in Seed Testing. *Seed Technol. J.* 26: 74-85.
- Condon, A.G., R. A. Richards and G. D. Farquhar, 2002.** Relationships between carbon isotope discrimination, water use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 44:1693-1711.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald, 1995.** Principles of seed science and technology. Chapman & Hall. USA.
- Dorri, M.A., B. Kamkar, M. Aqdasi and E. Kameshi-Kamar, 2014.** Determination of the best model for evaluation of germination cardinal temperatures in *Silybum marianum*. *Iranian J. Sci. Res.* 3(2):189-200. (In Persian).
- Forcella, F., R. L. Benecch Arnold, R. Sanches and C.M. Ghersa, 2000.** Modeling seeding emergence. *Filed Crop Res.* 67:123-139



- Ghadery-Far, F., A. Soltani and H. R. Sadeghipour, 2008.** Cardinal temperatures of germination medicinal pumokin, borago and black cumin, *Asian J. Plant Sci.* 7:6. 574-578.
- Gholami-Tilebeni, H., Gh. Kurd-Firozjaei and E. Zeinal, 2011.** The determination of germination cardinal temperatures of rice cultivars, *Seed Sci. Technol.* 1(1):41-52.( In Persian)
- Gulzar, S., M.A. Khan and L.A. Ungar, 2008.** Effect of salinity and temperature on the germination of *Urochondra setulosa* (Trin). *Seed Sci. Technol.* 29: 21-29.
- Hardegree, S. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97: 1115-1125.
- Hardegree, S.P. and A.H. Winstral, 2006.** Predicting germination response to temperature. II. Three dimensional regression statistical gridding and iterative-probit optimization using measured and interpolated subpopulation data, *Ann. Bot.* 98:403-410.
- Iran-nejad, H. and M. Hosseini Mazinani, 2005.** The effect of planting date on the seed yield of three varieties of oil flax in varamin, *J. Agric. Sci.* 4:1-10.( In Persian)
- Jalilian, A., D. Mazaheri, R. Tavakkol Afshari, H. Rahimian, M. Abdollahian and J. Gohari, 2005.** Estimation of base temperature and investigation of germination and field emergence trend of mono-germ sugar beet under various temperatures. *J. Sugar Beet.* 20: 97-112.( In Persian)
- Jakse, M., J. Hacin, and N. Kacjan-Marsic, 2013.** Production of rocket on plug trays in and on a floating system in relation to reduced nitrate content, *Acta Agric. Slovenica.* 101:1. 59-68.
- Jhala, A.J. and L.M. Hall, 2010.** Flax: current uses and future applications, *Aus. J. Basic Appl. Sci.* 4(9):4304-4312.
- Khaliliaqdam, N., Sh. Davoudi and T. Mir-Mahmoudi, 2014.** Evaluation of non-regression models for quantify of 1000-grain weight in wheat, (In Persian, with English Abstract). *J. Plant Appl. Eco-physiol. Res.* Accepted.
- Kamkar, B., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and P. Rezvani Moghaddam, 2006.** Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). *Asian J. Plant Sci.* 5: 316-319.
- Kheirkhah, M., A. Kochechi, P. Rezvani-Moqaddam, and M. Nasiri-Mahallati, 2011.** The determination of germination cardinal temperature of *Ziziphora clinopodioides* Lam. (In Persian, with English Abstract). *Iranian J. Field Crop Res.* 11(4):543-550.
- Mahmoodi, A., Soltani, E., and Barani, H. 2008.** Germination response to temperature in snail medic (*Medicago sativa* L.). *Electronic J. Crop Prod.* 1: 54-63.
- Mwale, S.S., S.N. Azam-Ali, J. 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.
- Omidbeigi, R. 2005.** Production and Processing of Medicinal Plants. Astaneh G hods-e-Razavi Publications, Mashhad. (In Persian).
- Pourreza, J. and A. Bahrani, 2012.** Estimating cardinal temperatures of Milk thistle seed germination, *Ame.-Eura. J. Agric. Environ. Sci.* 12(8): 1030-1034.
- Portosi, N., M. H. Rashed Mohassel and I. Izadi Darbandi, 2009.** Determination of cardinal temperature of (*Cenopodium album*), (*Portulaca oleracea*), (*Digitaria sanguinalis*), (In Persian, with English Abstract). *Iranian J. Agric. Res.* 6(2):255-261.(In Persian).
- Ramin, A.A. 1997.** The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium ampeloprasum* L. spp. *Iranicum* W.). *Seed Sci. Technol.* 25: 419-426.
- Sabouri-Rad, S., M. Kafi, A. Nezami and M. Banayan-Avval, 2011.** Estimation of minimum, optimum and maximum temperatures of *Kochia Scoparia* using of beta five parametric model, (In Persian, with English Abstract). *J. Agro-Eeco.* 3(2): 191-197.
- SAS Institute. 2001.** The SAS system for windows. Release 9. 1. SAS Inst., Cary, NC. USA
- Soltani, A. and V. Maddah-Yazdi, 2010.** Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press.(In Persian).

- Ramin, A. A. 1997.** The influence of temperature on germination Taree Irani. Seed Sci. Technol. 25: 419-426.
- Ranjbar, F., A. Koucheqi, M. Nasiri Mahallati and N. Kamayestani, 2013.** Evaluation of germination characteristics and cardinal temperatures in (*Foeniculum vulgar*), (In Persian, with English Abstract). Seed Res.J. 3(3): 61-68.
- Sincik, M., D. Reickhoff and A. Erbershobler ,2004.** Effect of low temperatures on the germination of different field pea genotypes. Seed Sci. Technol. 32: 331-339.
- Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali and N. Latifi, 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 29: 653-662.
- Soltani, A., M.J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz and R. Sarparast, 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. Agric. Forestry Metereol., 138: 156-167.
- Soltani, A., S. Galeshi, E. Zainali and N. Latifi, 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 30: 51-60.
- Tabrizi, L., M. Nasiri Mahalati and A. Koocheqi, 2004.** Assessment of minimum, optimum and maximum temperatures of seed germination of psilium, (In Persian, with English Abstract). Iranian J. Field Crops Res. 5: 249-257.
- Tabrizi, L., A. Koocheqi, M. Nasiri Mahalati and P. Rezvani, 2007.** Germination behavior of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) with application of regression models. (In Persian, with English Abstract). Iranian J. Field Crops Res. 5: 249-257. Tekroni, D.M., and D.B. Egli, 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. Crop Sci. 31: 816-822.
- Vagra, J., A.S. Apahidean, E. Laczi and A. I. Apahidean, 2012.** Studies concerning the sowing period in the arugula plants development, Acta Universities Sapientiae Agriculture and Environment, 4:5-10.
- Zeinali, E., A. Soltani, S. Galeshi and J. Sadati, 2010.** Cardinal temperatures, reaction to temperature and thermal tolerance range of seed germination of wheat cultivars, (In Persian, with English Abstract). Electronic J. Crop Prod. 3:3. 23-42.
- Wang, J., J. Ferrell, G. MacDonald and B. Sellers, 2009.** Factors affecting seed germination of cadillo (*Urena lobata*). Weed Sci. 57 (1): 31-35.
- Yin, X. 1996.** Quantifying the effects of temperature and photoperiod on phenological development flowering in rice, PhD thesis, Wageningen. Agriculture University, the Netherland.