

Cardinal temperatures of *Ambrosia psilostachya* using regression models

Nasrin Sadeghnezhad¹, Hassan Alizadeh^{*2}, Hamid Rahimian Mashhadi², Mostafa Oveisi³ and Somayeh Tokasi⁴

1,2,3. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Plant Protection Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

(Received: July 25, 2022 - Accepted: October 12, 2022)

ABSTRACT

This research was carried out to estimate the cardinal temperatures of *Ambrosia psilostachya* seed germination and evaluation of some nonlinear regression models. The experiment was performed at Tehran University Weed laboratory in 2022. In this experiment, the seeds were exposed to 8 temperature treatments (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40°C) with 3 replications in a completely randomized design. The germination rate, seed germination percentage and mean germination time of seeds were measured. Cardinal temperatures of seed germination were estimated using four regression models including segmented, dent-like and beta (four and five parameters) models. The performance of models and statistical indices was compared by RMSE (root mean squared of error), R² (coefficient of determination) and AICc (corrected Akaike Information Criterion). Highest germination percentage was obtained at 15, 20 and 25°C (60.3%, 63.7% and 63%, respectively). The Highest germination rate (0.13d⁻¹) and the lowest mean germination time (7.48d) were obtained at 25°C. Due to lower AICc and RMSE, the beta model (five parameters) was the best model for predicting the response of germination percentage to temperature in *A. psilostachya*. Generally, base, optimal and ceiling temperatures were estimated 5, 25.5 and 42.13°C respectively by beta five-parameter model.

Keywords: Beta 5 parameters model, germination percentage, germination rate, mean germination time.

برآورد دماهای کاردینال آمبروزیا (*Ambrosia psilostachya*) با استفاده از مدل های رگرسیونی

نسرین صادق نژاد^۱، حسن علیزاده^{*۲}، حمید رحیمیان مشهدی^۲، مصطفی اویسی^۳، سمیه تکاسی^۴

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموزته دکتری علوم علفهای هرز، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات،

دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران. ۴- بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان،

سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، رشت

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۰)

چکیده

به منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه زنی بذر علف هرز مهاجم آمبروزیا *Ambrosia psilostachya* آزمایشی در آزمایشگاه علوم علفهای هرز دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۴۰۱ انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هشت تیمار دمایی شامل دماهای پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد به اجرا درآمد. سرعت و درصد جوانه زنی بذرها محاسبه شد و جهت توصیف و پیش بینی دماهای کاردینال جوانه زنی، از مدل های دندان مانند، دو تکه ای و بتای چهار و پنج پارامتری استفاده شد. به منظور ارزیابی برازش و دقت پیش بینی مدل های مختلف، از برآوردگرهای آماری شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص آکائیک تصحیح شده (AICc) استفاده شد. بالاترین درصد جوانه زنی در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی گراد به ترتیب با ۶۰/۳، ۶۳/۷ و ۶۳ درصد به دست آمد که میان آن ها تفاوت آماری معنی داری وجود نداشت. بیشترین سرعت جوانه زنی (0.13d⁻¹) و کمترین مقدار متوسط زمان جوانه زنی (7.48 روز) به دمای ۲۵ درجه سانتی گراد تعلق داشت. به دلیل پایین بودن AICc و RMSE، مدل پنج پارامتری بتا بهترین مدل برای پیش بینی پاسخ درصد جوانه زنی به دما در آمبروزیا بود و در مقایسه با دیگر مدل ها، توصیف بهتری از واکنش درصد جوانه زنی آمبروزیا نسبت به دما ارائه داد. به طور کلی دماهای پایه، بهینه و حداکثر این علف هرز با مدل پنج پارامتری بتا، به ترتیب پنج، ۲۵/۵ و ۴۲/۱۳ درجه سانتی گراد تخمین زده شد.

کلمات کلیدی: درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، متوسط زمان جوانه زنی، مدل پنج پارامتری بتا.

مقدمه

ارزشی در راستای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به‌شمار می‌روند (Ghersa *et al.*, 2000). برای مثال جهت انتخاب تاریخ کاشت مناسب، تعیین نواحی جغرافیایی برای حضور موفق و استقرار گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها، بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال مهم است (Jafari *et al.*, 2012). دماهای کاردینال جوانه‌زنی، عموماً بستگی به دامنه سازگاری محیطی یک گونه دارند و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی رشد و توسعه گیاهچه را تضمین می‌کند (Alvarado & Bradford, 2002). محققان زیادی از رگرسیون‌های غیرخطی و مدل‌های ریاضی به‌منظور شبیه‌سازی جوانه‌زنی، سبز شدن بذرها و پیش‌بینی فنولوژی گیاهان نسبت به دما استفاده کردند (Alvarado & Bradford, 2002; Khalaj *et al.*, 2015;) (Nejadhasan *et al.*, 2017; Manalil *et al.*, 2018). امتیاز این توابع این است که پارامترهای به‌کار رفته در این مدل‌ها، دارای مفهوم بیولوژیکی (مانند دماهای کاردینال، سرعت ذاتی جوانه‌زنی و زمان مورد نیاز برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی) هستند (Hardegree, 2006). تحقیقات زیادی در زمینه تعیین دماهای کاردینال و بررسی مؤلفه‌های جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز صورت گرفته است. از جمله مدل‌های به‌کار رفته در این تحقیقات می‌توان به مدل‌های دندان مانند^۴، دو تکه‌ای^۵ و بتا^۶ اشاره کرد. طی پژوهش انجام شده بر روی گیاه نوروبک (*Salvia leriifolia* Benth)، مدل پنج پارامتره بتا به‌عنوان بهترین تابع برای کمی‌سازی رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما گزارش شد (Dashti *et al.*, 2015). صالحی و همکاران

علف‌هرز مهاجم، گونه‌ای بومی یا غیربومی است که با ورود به یک منطقه جدید، قلمرو خود را گسترش می‌دهد، تنوع زیستی را تهدید می‌کند و می‌تواند موجب پیامدهای نامطلوب اقتصادی و محیطی شود (Minbashi Moini *et al.*, 2010). جوانه‌زنی بذر، مهم‌ترین مرحله در استقرار موفق علف‌های هرز به‌شمار می‌آید که به علف‌هرز توانایی رقابت در یک آشیان اکولوژیک را می‌دهد (Tanveer *et al.*, 2013) و شامل شروع فعالیت متابولیسی سریع، رشد جنین، خروج ریشه‌چه و سرانجام ظهور اندام‌های هوایی می‌باشد (Grzesik & Romanowska-Duda, 2014). ظرفیت بالای تولید مثل، مکانیسم‌های انتشار کارآمد، سازگاری، بقا و رقابت، از عوامل مؤثر در برتری و موفقیت گونه‌های علف‌هرز به‌شمار می‌روند (Ditomaso *et al.*, 2013). دما به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورها در پاسخ بذر به تغییرات شرایط محیطی به‌شمار می‌رود (Nakao & Cardoso, 2016) و یکی از اولین فاکتورهای مؤثر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی است که مستقیماً با جذب آب توسط بذر و فعالیت‌های بیوشیمیایی تنظیم‌کننده متابولیسم‌های درگیر در فرایند جوانه‌زنی، عمل می‌نماید. بنابراین اغلب گونه‌ها برای رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی، به دمای مناسب یا دمای متناوب نیاز دارند (Guo *et al.*, 2020). دماهای کاردینال شامل دمای پایه^۱ (Tb)، دمای بهینه^۲ (To) و دمای حداکثر^۳ (Tc) است که در پاسخ جوانه‌زنی بذرها به دما شناخته شده‌اند (Beheshtian Mesgaran *et al.*, 2013). شناخت الگوی رویش علف‌های هرز برای انتخاب زمان مناسب مدیریت آن‌ها ضروری است؛ به‌همین دلیل مدل‌های پیش‌بینی رویش، ابزارهایی با

^۴ Dent-like Model^۵ Segmented Model^۶ Beta Model^۱ Base Temperature^۲ Optimum Temperature^۳ Ceiling Temperature

فلور بومی منطقه را دارد و رقیب مهمی برای گونه‌های بومی منطقه محسوب می‌شود. این گونه، سازگاری بسیار بالایی برای رشد و توسعه در خاک‌های مختلف از رسی تا سنی، خشک تا مرطوب، عمیق و کم‌عمق و خاک‌های با حاصلخیزی متفاوت را دارد. ریشه‌های این گونه تا عمق زیاد در خاک نفوذ می‌کنند، در خاک‌های کم‌عمق نیز به خوبی استقرار می‌یابند و با حفظ برتری رقابتی، موجب کمبود آب برای گونه‌های مجاور می‌شوند. بنابراین، گونه‌ای پیشگام با قابلیت رشد سریع در مکان‌های تخریب شده مانند حاشیه جاده‌ها، بزرگراه‌ها، حاشیه رودخانه‌ها، باغ‌ها، قلمرو ریل‌های راه‌آهن، آرامستان‌ها و مکان‌های شهری رها شده که محل تجمع زباله است، شمرده می‌شود (Reznik, 2009). گونه‌های جنس *Ambrosia spp.* منبع تولید فراوان دانه‌گرده هستند؛ تولید دانه‌گرده زیاد از گونه *A. psilostachya* DC. نیز گزارش شده است (Korczynski & Korczynska-Krasicka, 2011). این گونه در استان گیلان به‌عنوان گونه‌ای مهاجم با درصد آلودگی وسیع و ریسک خطر بالا (با نمره خطرزایی ۱۷۵/۲) معرفی شده است و اقدامات سریع برای مهار آن توصیه شده است (Tokasi et al., 2018). با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی درباره‌ی بازه دمایی مناسب جوانه‌زنی این گیاه مهاجم، هدف از این آزمایش، کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی این گیاه به دما و تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل مناسب رگرسیونی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه علف‌های هرز دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به‌منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرهای گیاه آمبروزیا در دماهای مختلف و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی انجام شد. بذرهای پس از رسیدگی فیزیولوژیک در پاییز ۱۳۹۹، از شهرستان بندرانزلی جمع‌آوری شدند و پس از انتقال به

(Salehi et al., 2020) برای توصیف سرعت جوانه‌زنی در برابر دما و پتانسیل آب، از مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای، بتا (اصلی) و بتا (تغییر یافته) استفاده کردند. بر اساس تحقیق آن‌ها، مدل دو تکه‌ای به عنوان بهترین مدل جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر فریون خوابیده (*Euphorbia maculata*)، گزارش شد. دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2017) برای برآورد دماهای کاردینال ارشته خطایی (*Lepyroclis holosteoides*) از مدل‌های رگرسیونی استفاده کردند و گزارش دادند که مدل‌های چهار و پنج پارامتری بتا توانستند توصیف بهتری از واکنش سرعت جوانه‌زنی ارشته خطایی نسبت به دما ارائه کنند. زارع و همکاران (Zare et al., 2020) برای پاسخ جوانه‌زنی علف‌های هرز منداب (*Eruca sativa* Mill) و خاکشیر بدل (*Erysimum repandum* L.) نسبت به دما، به ترتیب مدل‌های بتا پنج و چهار پارامتره را معرفی کردند.

علف‌هرز آمبروزیا (*Ambrosia psilostachya* DC.) از علف‌های هرز چندساله تابستانه است که با بذر و ریزوم تکثیر می‌شود و مکانیزم ورود این گونه به منطقه مورد تهاجم، از طریق بذر می‌باشد (Makra et al., 2015). این علف‌هرز جزو لیست گونه‌های گیاهی خطرناک برای سلامتی انسان، محیط زیست و تنوع زیستی سازمان حفظ نباتات اروپا و مدیترانه است. آمبروزیا گونه‌ای پیشگام است و می‌تواند به آسانی در مکان‌های مختلف استقرار یابد (Freid et al., 2015). در ایران، حضور این گونه مهاجم، نخستین بار در سال ۱۳۹۶ در شهرستان بندرانزلی در استان گیلان گزارش شد که به‌طور گسترده حاشیه جاده‌ها و زمین‌های رها شده را پوشش داده بود (Tokasi et al., 2017). این گونه، در فهرست گونه‌های مهاجم پرخطر دنیا قرار دارد و به‌علت دارا بودن ویژگی‌هایی مانند دائمی بودن، ارتفاع بلند و طول دوره رشد طولانی، قابلیت غالب شدن بر

$$MGT = \frac{(\sum F * X)}{\sum F} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، MGT: متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)، F: تعداد بذر جدید جوانه زده در روز و X و X: روز می‌باشد. سرعت جوانه‌زنی نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Ellis & Roberts, 1981).

$$R_s = 1/MGT \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، R_s : سرعت جوانه‌زنی و MGT: متوسط زمان جوانه‌زنی است.

تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی بین سرعت جوانه‌زنی و دماهای مختلف انجام شد. دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شدند. رابطه چهار تابع مدل رگرسیونی برازش داده شده با درصد جوانه‌زنی بذر آمبروزیا در جدول ۱ خلاصه شده است. برازش مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات انجام شد.

همچنین برای ارزیابی بهترین و دقیق‌ترین مدل‌های برازش داده شده (پیش‌بینی شده) و تعیین نکویی برازش مدل‌های مختلف، از برآوردگرهای آماری زیر استفاده شد:

RMSE: جذر میانگین مربعات خطا است که میزان آن با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 / n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، x_i : درصد جوانه‌زنی تجمعی واقعی، y_i : درصد جوانه‌زنی پیش‌بینی شده و n : تعداد مشاهدات می‌باشد. هر قدر جذر میانگین مربعات خطای مدل مورد استفاده کمتر باشد، مدل، برازش مناسب‌تری دارد و درصد تغییرات میزان جوانه‌زنی را بهتر توجیه می‌کند (Akram-Ghadery et al., 2008).

آزمایشگاه، تا زمان اجرای آزمایش درون پاکت‌های کاغذی در دمای پنج درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار شامل هشت سطح دما (پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و سه تکرار (صد بذر برای هر تکرار) اجرا شد. جهت ضدعفونی بذرهای از محلول هیپوکلریت سدیم به مدت یک دقیقه استفاده شد و بلافاصله پس از آن، بذرهای سه بار با آب مقطر شسته شدند. با توجه به وجود خواب بذر و جهت شکست خواب، بذرهای تحت تیمار سرمادهی مرطوب قرار گرفتند. تعداد ۲۵ بذر در پتری دیش‌های شیشه‌ای با قطر نه سانتیمتر روی لایه کاغذ صافی واتمن قرار داده شدند و با پنج میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شدند. سپس در ژرمیناتورهایی با دماهای پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی قرار داده شدند. شمارش بذرهای جوانه زده به صورت روزانه و تا زمانی که تعداد جوانه‌زنی به یک حد ثابت رسید (حدود ۱۴ روز) ادامه یافت. خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر، به عنوان معیار جوانه‌زنی در نظر گرفته شد (Soltani et al., 2001). ابتدا تست نرمالیتی Kolmogorov-smirnov در نرم‌افزار spss انجام شد و با توجه به این که داده‌ها دارای توزیع نرمال بودند نیازی به نرمال سازی داده‌ها نبود. تجزیه واریانس سرعت، درصد و متوسط زمان جوانه‌زنی در دماهای مذکور با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با روش دانکن در سطح یک درصد انجام شد. درصد جوانه‌زنی از تقسیم تعداد بذر جوانه زده به کل بذرهای ضرب در عدد ۱۰۰ به دست آمد. در ادامه با استفاده از رابطه زیر، متوسط زمان جوانه‌زنی محاسبه شد (Matthews & Khajeh-Hosseini, 2007).

جدول ۱- مدل‌های رگرسیونی (دوتکه‌ای، دندان مانند، بتا چهار و پنج پارامتره) به کار برده شده به منظور برازش درصد جوانه‌زنی بذرهای علف‌هرز آمبروزیا

Table 1. Regression models (segmented, dent-like and beta 4 and 5 parameter functions) applied to fit germination rate of *Ambrosia psilostachya* seeds to temperature.

Function	Formula	Reference
Dent-like	$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) \text{ if } (T_b < T \leq T_{o1})$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) \text{ if } (T_{o2} < T \leq T_c)$ $f(T) = 1 \text{ if } (T_{o1} < T \leq T_{o2})$ $f(T) = 0 \text{ if } (T \leq T_b) \text{ or } (T \geq T_c)$	(Piper <i>et al.</i> , 1996)
Segmented	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b) \text{ if } (T_b < T \leq T_o)$ $f(T) = 1 - (T - T_o) / (T_c - T_o) \text{ if } (T_o < T \leq T_c)$ $f(T) = 0 \text{ if } (T \leq T_b) \text{ or } (T_c \leq T)$	(Mwale <i>et al.</i> , 1994)
Beta (4parameters)	$f(T) = \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o} \times \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^{\left(\frac{T_o - T_b}{T_c - T_o} \right)} / f_0$	(Yan & Hunt, 1999)
Beta (5parameters)	$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right)^{\left(\frac{T_c - T_b}{T_o - T_b} \right)^a} \right] / f_0$	(Yan & Hunt, 1999)

T: دما، T_b : دمای پایه، T_o : دمای بهینه، T_{o1} : دمای بهینه پایین، T_{o2} : دمای بهینه بالا، T_c : دمای حداکثر، a: پارامتر شکل تابع و f_0 ضریب رگرسیونی است. T: Temperature, T_b : Base temperature, T_o : Optimum temperature, T_{o1} : Lower optimum temperature, T_{o2} : Upper optimum temperature, T_c : Ceiling temperature, a: Function shape parameter, f_0 : Regression coefficient.

کوچک در ویژگی‌های یک فرآیند است.

$$\Delta i = AICc - AICcmin \quad \text{رابطه (۶)}$$

که $AICcmin$ ، کمترین مقدار $AICc$ محاسبه شده در بین مدل‌هاست و Δi کوچکتر از دو، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار میان دو مدل می‌باشد. چنانچه $2 \leq \Delta i \leq 10$ باشد، مدل با آکائیک کوچکتر ترجیح است، ولی مدل دوم نیز قابل قبول می‌باشد. در صورتی که Δi بزرگتر از ۱۰ باشد، مدل دوم کاملاً رد می‌شود (Burnham & Anderson, 2004).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد، سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی، وجود اختلاف معنی‌دار (در سطح یک درصد) میان تیمارهای مختلف دمایی را نشان داد. میانگین درصد جوانه‌زنی بذرهای آمبروزیا در دماهای ثابت ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۸/۴، ۳۲/۶۰، ۶۳/۶۷، ۶۳/۶۳، ۶۷/۵۳ و ۶۷/۵۳ درصد بود، در حالی که در دماهای پنج و ۴۰

محققان زیادی از شاخص آکائیک^۱ برای مقایسه مدل‌ها استفاده کردند (Deihimfard *et al.*, 2017; Ebadi *et al.*, 2020; Zare *et al.*, 2020). از این شاخص به عنوان معیاری برای ارزیابی دقت مدل در پیش‌بینی جوانه‌زنی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان به جای آکائیک، از آکائیک تصحیح شده ($AICc$) و دلتا آکائیک طبق معادله‌های زیر استفاده کرد (Burnham and Anderson, 2002).

$$AIC = n \log \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2 * k \quad \text{رابطه (۴)}$$

رابطه (۵) $AICc = n \log \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2 * k + (2k(k+1)/n - k - 1)$ که در آن، k: تعداد پارامترهای مدل، n: تعداد مشاهدات و RSS: مجموع مربعات باقیمانده می‌باشد. در مقایسه مدل‌ها، مدلی که از مقدار AIC کمتری برخوردار باشد، به عنوان مدل برتر انتخاب می‌شود. مقادیر AIC به‌تنهایی قابل تفسیر نیستند، زیرا به شدت تحت تأثیر حجم نمونه قرار می‌گیرند. در اینجا ضروری است که AIC یا $AICc$ مجدداً اندازه‌گیری شود. شاخص ΔAIC در واقع یک آزمون بهینه برای تشخیص هرگونه تغییر

^۱ Akaike Information Criterion

دماهای ۳۰، ۱۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بود. بیشترین سرعت جوانه‌زنی نیز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (به میزان ۰/۱۳ (1/d)) و پس از آن در تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد (به میزان 1/d) (۰/۱۲) مشاهده شد. بین دو تیمار ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد، اختلاف آماری معنی‌دار نبود و این دو با تیمار ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۲).

درجه سانتی‌گراد، بذرها را این علف‌هرز فاقد جوانه‌زنی بودند که به دلیل کاهش متابولیسم در دمای کم (Tolyat *et al.*, 2014)، افزایش تنفس و کاهش ذخیره بذر و یا برخی تغییرات مخرب در پروتئین‌های ضروری در دماهای بالا (Azimi *et al.*, 2014) می‌باشد. بالاترین درصد جوانه‌زنی بذرها آمبروزیا به دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعلق داشت و بین این تیمارها اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد، اما اختلاف بین

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی بذرها آمبروزیا در دماهای مختلف

Table 3- Mean comparison of the effect of different temperature on *Ambrosia psilostachya* seeds germination rate and percentage

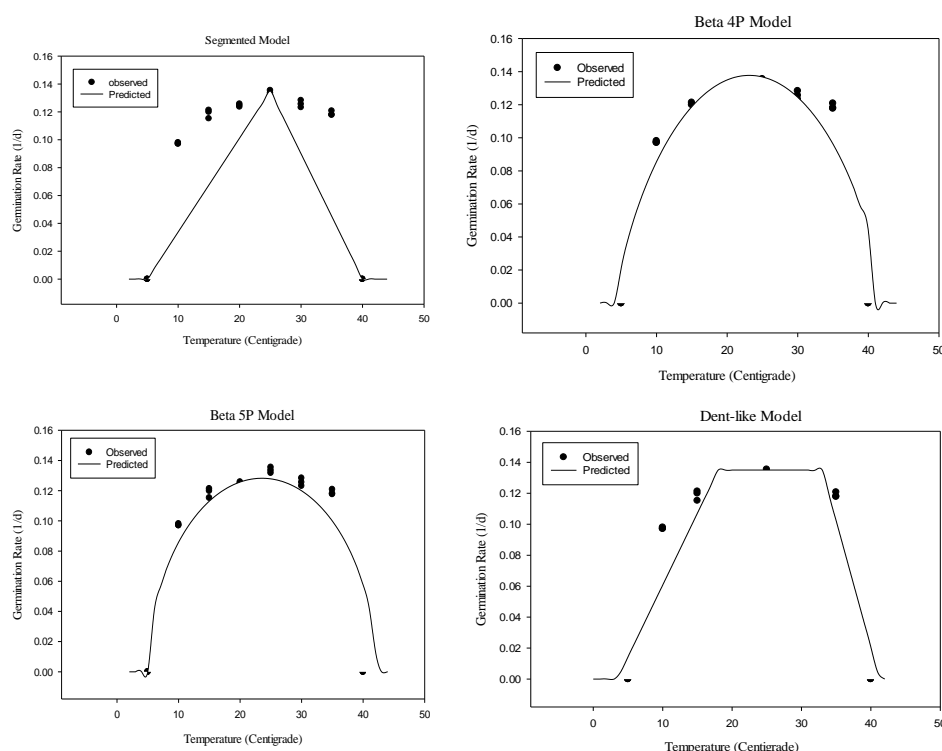
Temperature °C	Germination characteristics (Mean)		
	Germination (%)	Germination Rate (1/d)	MGT (d)
5	0 ^e	0 ^e	0 ^e
10	48.22 ^c	0.09 ^d	10.27 ^a
15	60.32 ^a	0.11 ^c	8.42 ^b
20	63.67 ^a	0.12 ^b	8.02 ^c
25	63 ^a	0.13 ^{Aa}	7.48 ^d
30	53.67 ^b	0.12 ^b	7.96 ^c
35	22.67 ^d	0.11 ^c	8.41 ^b
40	0 ^e	0 ^e	0 ^e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

In each column, means with the same letters are not significantly different at the 1% of probability level based on Duncan Test.

بود. با افزایش دما تا حد بهینه، MGT کاهش و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و سپس با افزایش دما، مجدداً MGT افزایش و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (جدول ۲). انعقاد پروتئین و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌شوند (Baalbaki *et al.*, 1999). تیگرسون و همکاران (Thygerson *et al.*, 2002) نیز کاهش کارایی متابولیسی بذرها را از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب گزارش کردند.

شیف و همکاران (Schimpf *et al.*, 1977) گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی شاخص حساس‌تری می‌باشد. در این آزمایش نیز تغییرات سرعت جوانه‌زنی با حساسیت بالاتری اختلاف میان دماها را نشان داد. محققان زیادی از شاخص سرعت جوانه‌زنی بذر در پژوهش‌های خود استفاده کردند (Fakhrrad *et al.*, 2019; Zare *et al.*, 2020; Bagheri *et al.*, 2022). همچنین نتایج آزمایش نشان داد که در دماهای پایین، میزان MGT (متوسط زمان جوانه‌زنی) زیاد بود، یعنی متوسط زمان سپری شده برای جوانه‌زنی، بیشتر و سرعت جوانه‌زنی، کمتر



شکل ۱- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه زنی علف‌هرز آمبروزیا بر اساس مدل‌های دوتکه ای، دندان مانند، بتای چهار و پنج پارامتره

Figure 1. Predicted (lines) vs. observed (symbols) *A. psilostachya* germination rate at different constant temperatures using Segmented, Dent like and Beta (4, 5 parameters) models

دماهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش، مناسب‌ترین مدل (بهترین ترکیب پارامتری) با استفاده از معیار اطلاعات آکائیک تصحیح شده (AIC_c) انتخاب شد. نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش مدلی نشان داد که بهترین مدل برای توصیف الگوی سرعت جوانه‌زنی بذرها آمبروزیا به دمای جوانه زنی، مدل پنج پارامتری بتا بوده است. این مدل به دلیل داشتن میزان $RMSE$ و AIC_c کوچک‌تر (به ترتیب 0.01 و -62.77) در مقایسه بین مدل‌ها، دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرها یا آمبروزیا را با دقت بیشتری پیش‌بینی کرد. با توجه به این که میزان شاخص Δi در سایر مدل‌ها بالاتر از 10 بود، این مدل به عنوان تنها مدل برتر انتخاب شد. بر اساس این مدل، دماهای پایه، مطلوب و سقف به ترتیب پنج، $25/5$ و $42/13$ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. آذری و همکاران (*Azari et*

اورس (Evres, 1991) گزارش کرد که جوانه‌زنی سریع، احتمال خروج به موقع ریشه‌چه از بذر و استفاده از رطوبت خاک و استقرار بهتر گیاهچه را افزایش می‌دهد. با تعیین درجه حرارت‌های کاردینال، امکان ارزیابی محدودیت‌های جغرافیایی گونه‌ها ممکن می‌شود (Ramin, 1997). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سرعت جوانه‌زنی از دمای 10 تا 25 درجه سانتی‌گراد افزایش و پس از آن کاهش یافت.

کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرها آمبروزیا در دماهای مختلف با کمک مدل دوتکه ای، دندان مانند و بتای چهار و پنج پارامتره انجام شد (شکل ۱). مقادیر $RMSE$ (جذر میانگین مربعات خطا)، R^2 (ضریب تبیین)، AIC_c (شاخص آکائیک اصلاح شده)، T_b (دمای پایه)، T_{01} (دمای بهینه تحتانی)، T_{02} (دمای بهینه فوقانی) و T_c (دمای حداکثر) مربوط به هر مدل در

(*al.*, 2020) از شاخص $i\Delta$ برای تعیین دماهای کاردینال (Lens) استفاده کردند. جوانه‌زنی بذر دو ژنوتیپ عدس (*Medik culinaris*)

جدول ۳- پارامترهای پیش‌بینی شده با استفاده از مدل دو تکه ای، دندان مانند و بتا چهار و پنج پارامتره.

Table 4. Estimated parameters using the Segmented, Beta (4&5 parameters) and Dent-like models

parameter	Model			
	Segmented	Dent-like	Beta 4p	Beta 5p
Tb	5(1.75)	3.5(2.8)	4.3(2.4)	5(1.9)
To	25(4.42)	-	20(4.1)	25.5(3.9)
Tc	40(2.28)	41.26(2.6)	42(2.1)	42.13(1.8)
To1	-	18(2.3)	-	-
To2	-	33(1.7)	-	-
f0	-	-	1(1.12)	0.69(1.07)
a	-	-	-	0.65(0.82)
R2	0.71	0.88	0.97	0.99
RMSE	0.04	0.05	0.08	0.01
AIC	-34.19	-27.53	-16.55	-64.43
AICc	-33.14	-25.86	-14.08	-62.77
$i\Delta$	29.63	36.91	48.69	0

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد.

Numbers in the parenthesis are standard errors.

نتیجه‌گیری کلی

بذرها به دم، کمتر از سرعت جوانه زنی بود. مدل معرفی شده و ضرایب برآورد شده در مدل‌سازی واکنش جوانه‌زنی، مفاهیم بیولوژیکی دارند و بسیار ارزشمند هستند. از این مدل و پارامترهای حاصل از آن می‌توان در پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر این علف‌هرز مهاجم استفاده نمود. بی شک، ارزیابی تعداد بیشتری از مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی تحت تیمارهای مختلف دمایی و رطوبتی و سایر عوامل محیطی مؤثر بر فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند محققین را در درک بهتر نیازهای اکولوژیک جوانه‌زنی این علف‌هرز مهاجم کمک نماید.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، از بین چهار مدل رگرسیون غیرخطی، مدل بتای پنج پارامتره به‌عنوان مدل برتر در کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه آمبروزیا به دما انتخاب شد. دماهای پنج، ۲۵/۵ و ۴۲/۱۳ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب به‌عنوان دماهای پایه، بهینه و سقف برای بذرهای آمبروزیا تعیین شدند. با افزایش دما تا دمای مطلوب، درصد و سرعت جوانه زنی بذرها افزایش و پس از آن کاهش یافت. متوسط زمان جوانه‌زنی بذرها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و پس از آن افزایش یافت. حساسیت درصد جوانه زنی

منابع

- Akram-Ghaderi, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R., 2008. Effect of temperature and water potential on germination of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo*. convar. *pepo* var. *styriaca*), black cumin (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). *ASIAN J. PLANT Sci.* 15: 157-170. (In Persian)
- Alvarado, V. and Bradford, K.J. 2002. A hydro thermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25:1061-1069.
- Azari, S.J., Parsa, M., Nezami, A., Tavakol Afshari, R. and Nabati, J. 2020. Determination cardinal temperatures seeds germination of two lentil genotype (*Lens culinaris* Medik) under various priming. *IJST-T MECH. ENG.* 8 (2): 1-17. (In Persian)
- Azimi, R., Khajeh-Hosseini, M. and Falahpor, F. 2014. Evaluation of seed germination features of *Bromus kopetdaghensis* Drobov under different temperature. *J. Range Watershed Manage.* 67(2): 253-261. (In Persian)
- Baalbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Blaik, M.M. and Tahouk S.N. 1999. Germination and seedling development

- of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Sci. Technol.* 27: 291-302.
- Bagheri, A.R., Mondani, F., Geravandi, A. and Amiri, S. 2022. Evaluation of the effect of osmo and hydro priming on germination traits of polymorph seeds of Marigold compact petal variety (*Calendula officinalis* L.). *IJST-T MECH. ENG.* 11(1): 1-14. (In Persian)
- Beheshtian Mesgran, M., Rahimian Mashhadi, H., Alizadeh, H., Ohadi, S. and Zare, A. 2013. Modeling the germination responses of wild barley (*Hordeum spontaneum*) and littleseed canary grass (*Phalaris minor*) to temperature. *Iranian Weed Sci.* 9: 105-118. (In Persian)
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2004. Understanding AIC and BIC in Model Selection. *S.M.R.* 33: 261-304.
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2002. Model selection and inference: A practical information theoretical approach. New York: Springer-Verlag.
- Dashti, M., Kafi, M., Tavakkoli, H. and Mirza, M. 2015. Cardinal temperatures for germination of *Salvia leriifolia* Benth. *Herba Pol.* 61(1): 5-18.
- Deihimfard, R., Nazari, S. and Qorani, Y. 2017. Estimation of cardinal temperatures of *Lepyrodielis holosteoides* using regression models. *IJST-T MECH. ENG.* 6(2): 107-117.
- Ditomaso, J. M., Kyser, G. B., Oneto, S. R., Wilson, R. G., Orloff, S. B., Anderson, L. W. and Ransom, C. 2013. Weed control in natural areas in the western United States. *Weed Research and Information Center. University of California.* 544.
- Ebadi, A., Parmoon, Gh., Ahmadnia, F., Godarzy, M. and Ghahrmany, S. 2020. Quantifying cardinal temperature and hydrotime germination of *Cuminum cyminum* seeds. *IJST-T MECH. ENG.* 9(2): 61-74. (In Persian)
- Ellis, R.A. and Roberts, E.H. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. Technol.* 9: 373-409.
- Evres, G.W. 1991. Germination response of subterranean, berseem and roseclovers to alternating temperatures. *Agron J.* 83: 1000-1004.
- Fakhrad, S.F., Ghanbari, A. and Rastgoo, M. 2019. Estimation of cardinal temperatures of *Carthamus oxycantha* germination using different regression Models. *J. Plant Prod.* 32(4): 569-578. (In Persian)
- Freid, G., Belaudi, A. and Chauvel, B. 2015. Ecology and Impact of an emerging invasive species in France: Western Ragweed (*Ambrosia psilostachya* DC.). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie).* 70: 53-67.
- Guo, C., Shen, Y. and Shi, F. 2020. Effect of temperature, light, and storage time on the seed germination of *Pinus bungeana* Zucc. ex Endl: The role of seed-covering layers and abscisic acid changes. *Forests.* 11(3): 300.
- Ghersa, C., Benech-Arnold, R., Satorre, E. and Martinez-Ghersa, M. 2000. Advances in weed management strategies. *Field Crop Res.* 67(2): 95-104.
- Grzesik, M. and Romanowska-Duda, Z. 2014. Improvements in germination, growth, and metabolic activity of corn seedlings by grain conditioning and root application with *Cyanobacteria* and *Microalgae*. *Pol. J. Environ. Stud.* 23(4):1147-1153.
- Hardegree, S. 2006. Predicting germination response to temperature cardinal temperature models and subpopulation specific regression. *Ann. Bot.* 97(6): 1115- 1125.
- Jafari, N., Esfahani, M. and Sabouri, A. 2012. Assessment of non-linear regression models to evaluate response of seedling emergence rate to temperature in three oil Seed rape seed cultivars. *Iranian J. Field Crop Sci.* 42: 857-868. (In Persian)
- Khalaj, H., Allahdadi, I., Iranejad, H., Akbari, G.A., Minbashi, M., Baghestani, M.A., Labbafi, M.R. and Mehrafarin A. 2015. Using onlinear regression model for estimation of cardinal temperatures in three medicinal plants. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)* 49: 165 – 173.
- Korczynski, M. and Krasicka-Korczynska, E. 2011. Architecture of *Ambrosia psilostachya* DC. individuals in different habitats. *Acta Agrobotanica.* 64: 115–122.
- Matthews, S. and Khajeh Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Sci. Technol.* 35: 200-212.
- Makra, L., Matyasovszky, I., Hufnagel, L. and Tusnády, G. 2015. The history of ragweed in the world. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 13: 489–512.
- Manalil, S., HaiderAli, H. and Chauhan, B.S. 2018. Germination ecology of turnip weed (*Rapistrum rugosum* (L.) All.) in the northern regions of Australia. *PLoS ONE.* 13(7): 1-12.
- Minbashi Moini, M., Rahimiyan, H., Zand, E. and Baghestani, M.A. 2010. Invasion weeds, a forgotten challenge. *Proceeding of 3rd Iranian Weed Science Congress, Babolsar, Mazandran, Iran, 17-18 February.* pp. 36-44 (In Persian)
- Nejadhasan, B., Zeinali, E. Eslahmarguee., A. Ghaderifar, F. and Soltani, E. 2017. Studying the response of seed germination of neglected plant *Arugula (Eruca Sativa)* to some environmental factors. *J.*

- PLANT PROD. 24(2): 77-91.
- Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J.A., Bradley, R.G. and Chatha, M.R. 1994. Effect of temperature on germination of sunflower. *Seed Sci. Technol.* 22: 565-571.
- Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W. and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Sci.* 36: 1606-1614.
- Nakao, E. A. and Cardoso, V. J. M. 2016. Analysis of thermal dependence on the germination of braquiarião seeds using the thermal time model. *BRAZ. J. BIOL.* 76(1): 162-168.
- 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.
- Reznik, S.Y. 2009. Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in Russia. Spread, distribution, abundance, harmfulness and control measures. *Ambrosia, The first international ragweed review.* 26: 1-10.
- Salehi, S., Diyanat, M. and Noormohammadi, G. 2020. Determination of cardinal temperature and evaluation of phenological stages of medicinal plant, broadleaf plantain (*Plantago major* L.). *IJST-T MECH. ENG.* 9(2): 87-100. (In Persian)
- Schimpf, D.J., Flint, S.D. and Palmblad, I.G. 1977. Representation of germination curves with the logistic function. *Ann. Bot.* 41: 1357-1360.
- Soltani, A., Zeinali, E. Galeshi, S. and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Sci. Technol.* 29: 653-662. (In Persian)
- SigmaPlot 12.5. software, Sigma Plot 2015 for Windows Version 12.5, SPSS Inc., 233 South Wacker Drive, Wacker Drive, 11thFloor, Chicago, IL 60606-6307.
- Tanveer, A., Tasneem, M., Khaliq, A., Javaid M.M. and Chaudhry, M.N. 2013. Influence of seed size and ecological factors on the germination and emergence of field bindweed (*Convolvulus arvensis*). *Planta Daninha* 31: 39-51.
- Thygerson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., Hansen, L.D., Pendleton, R.L. and Booth, D.T. 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winter fat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta.* 394: 211-217.
- Tokasi, S., Sohrabi, S. and Kazerooni Monfared, E. 2018. Risk assessment of two invasive plants, water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) (Mart. Solms) and perennial ragweed (*Ambrosia Psilostachya* DC.) in Gilan province. *J. Biosafety S.* 11: 57-72. (In Persian)
- Tokasi, S., Kazerooni Monfared, E., Yaghoubi, B., Oveisi, M., Sasanfar, H., Rahimian Mashhadi, H. and Muller-Scharer, H. 2017. First report of *Ambrosia psilostachya* from Iran: an invasive plant species establishing in coastal area of Gilan province (N. Iran). *Rostaniha.* 18: 222-226. (In Persian)
- Tolyat, M.A., Tavakkol Afshari, R., Jahansoz, M. R., Nadjafi, F. and Naghdibadi. H.A. 2014. Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *Daenensis*. *Seed Sci. Technol.* 42: 28-35.
- Yan, W. and Hunt, L. A. 1999. An Equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Ann. Bot.* 84:607-614.
- Zare, A., MalekpoorShahraki, M. and Arabizadeh, M. 2020. Determining cardinal temperature for seed germination of four weeds Brassicaceae Family. *J. Crop. Improv.* 23(2): 417-428.