

تعیین دماهای مهم جوانه‌زنی گیاه دارویی مروتلخ (*Salvia mirzayanii*) با استفاده از رگرسیون غیر خطی

مریم رضایی تمیجانی^۱، مسعود اصفهانی^{۲*} و عاطفه صبوری^۳
۱، ۲ و ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار، رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه گیلان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۸)

چکیده

جوانه‌زنی بذر مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده موفقیت یا شکست استقرار گیاه است و چنانچه رطوبت در حد مناسب باشد، آستانه‌های دمایی تعیین‌کننده سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی است. در نتیجه پیش‌بینی زمان و سرعت جوانه‌زنی در محدوده دمایی مناسب عامل تعیین‌کننده‌ای برای استقرار گیاه خواهد بود. این آزمایش با هدف ارزیابی مدل‌های رگرسیونی برای برآورد دماهای مهم (کاردینال) بذر گیاه مروتلخ (*Salvia mirzayanii*) قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان به اجرا گذاشته شد. بذرهای گیاه مروتلخ در تیمارهای دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. به‌منظور توصیف رابطه میان سرعت جوانه‌زنی و دما از مدل‌های دوتکه‌ای، منحنی، درجه دوم، بتا و دندانه‌ای استفاده شد. با توجه به مقادیر جذر میانگین مربعات خطا ۰/۰۰۲۶، ضریب تبیین ۰/۸۹ و شاخص آکاتیک ۷۶/۱۵- در مدل دوتکه‌ای، این مدل برازش مناسب‌تری از سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ نسبت به دما داشت. بر پایه این مدل دماهای کمینه (پایه)، مطلوب (بهینه) و بیشینه (سقف) به ترتیب ۵/۴۷، ۲۲/۱۴، ۴۰/۸۴ درجه سلسیوس بودند. از لحاظ کاربردی، می‌توان در کشت گیاه مروتلخ، دماهای مهم برآوردشده در این آزمایش را مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: دمای بهینه، دمای پایه، سرعت جوانه‌زنی، ضریب تبیین.

Determination of cardinal temperatures for germination of *Salvia mirzayanii* using nonlinear regression

Maryam Rezaei Tamijani¹, Masoud Esfehani^{3*} and Atefeh Sabouri³

1. M.Sc. Student, Professor and Assistant Professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran

(Received: Jun. 5, 2016 - Accepted: Oct. 29, 2016)

ABSTRACT

Seed germination usually is the most important determination of success or failure of plant establishment and if moisture is in optimum, the temperature threshold determines the rate and final germination percentage therefore prediction of the time and rate of germination in a suitable temperature range is decisive factor for plant establishment. This experiment evaluated regression models to estimate the cardinal temperatures of *Salvia mirzayanii* seeds and experiment carried out in completely randomized design with four replications in 2015 at the laboratory of Faculty of Agriculture, University of Guilan, Iran. *Salvia mirzayanii* seeds were placed in thermal treatments 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C. In order to describe the relationship between rate and temperature of germination were used segmented, curve-linear, quadratic, beta and dent-like models. According to the value of RMSE 0.26 Adj R² 0.89 and Akaike index -76.15 in segmented model, this model was more suitable for rate of *Salvia mirzayanii* seed germination than temperature. Based on this model, base, optimum and maximum temperature were 5.47, 22.14 and 40.84 °C respectively. In terms of practical, estimated cardinal temperature in the experiment can be considered in *Salvia mirzayanii* cultivation.

Keywords: Base temperature, coefficient of determination, germination rate, optimum temperature.

* Corresponding author E-mail: esfahani@guilan.ac.ir

مقدمه

جنس مریم‌گلی (*Salvia sp.*)، حدود ۹۰۰ گونهٔ علفی دارد و از این نظر بزرگ‌ترین جنس در تیرهٔ نعنائیان (*Lamiaceae*) به‌شمار می‌آید. این گیاه تنوع بالایی در ایران داشته و شامل ۷۰ گونه است که ۴۰ درصد از آن‌ها بومی ایران هستند (Abdollahi et al., 2012). بذر این گیاهان حاوی ۲۵ تا ۳۵ درصد روغن است. گیاهان خانوادهٔ مریم‌گلی تأثیر دارویی دارند که از آن جمله می‌توان به ویژگی پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی)، ضد میکروبی، ضد سرطان، ضد التهابی و بهبود توان حافظه اشاره کرد (Khoshnoud et al., 2014). اسانس این گیاهان به‌عنوان مادهٔ ضد عفونی‌کننده و درمان‌کنندهٔ بیماری‌های عصبی استفاده می‌شوند (Ghani et al., 2010). گیاه مروتلخ (*Salvia mirzayanii*)، یکی از گونه‌های مریم‌گلی است که از گذشته کاربردهای زیادی در تغذیه و درمان دارویی داشته است و به نام‌های مریم‌گلی کارواندری، مورپوژو و مروتلخ نیز خوانده می‌شود (Mozaffarian, 2004). در عصارهٔ این گیاه تأثیر پاداکسندگی و محافظ سیستم عصبی گزارش شده است (Khoshnoud et al., 2014). گونهٔ دارویی مروتلخ نخستین بار توسط Reching (1982) به عالم گیاه‌شناسی معرفی شد و آن را به نام *Salvia mirzayanii* نام‌گذاری کردند. این گونه از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گونه‌های گیاهی به‌ویژه در استان هرمزگان است که استفادهٔ درمانی فراوانی داشته و به دلیل کمی زادآوری، رویشگاه‌های طبیعی آن محدود است، بنابراین اهلی کردن، افزونش و گسترش کشت این گونه ضروری به‌نظر می‌رسد (Hajebi & Soltanipoor, 2006).

دما تأثیر معنی‌داری بر آغاز، قابلیت و سرعت جوانه‌زنی دارد (Flores & Briones, 2001). بیشترین درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنهٔ خاصی از دماها رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از این دامنهٔ دمایی، میزان جوانه‌زنی کاهش چشمگیری می‌یابد. سرعت جوانه‌زنی نیز با افزایش دما تا دمای بهینهٔ (مطلوب) جوانه‌زنی، افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد (Kebreab & Murdoch, 2000). جوانه‌زنی بذر هر

گیاه در گسترهٔ دمایی خاصی صورت می‌گیرد، که با عنوان دماهای مهم (کاردینال) نامیده می‌شود. در این گسترهٔ دمای کمینه یا پایه (T_b)^۱، بهینه (T_o)^۲ و بیشینه یا سقف (T_c)^۳ قرار دارد (Bewley & Black, 1994). دمای کمینه و بیشینه دماهایی هستند که به ترتیب در پایین‌تر و بالاتر از آن دماها جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای بهینه، دمایی است که در آن مرحله‌های جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین زمان ممکن است رخ دهد، یعنی سرعت جوانه‌زنی در آن دما بیشینه باشد (Alvorado & Bradford, 2002) که برای ارائهٔ مدل پیش‌بینی جوانه‌زنی سه جزء یادشده ضروری است. انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای تشریح رابطهٔ بین دما و سرعت جوانه‌زنی استفاده شده است. Etesami et al. (2015) در نتایج بررسی‌های خود اظهار داشتند که رابطهٔ دما با سرعت جوانه‌زنی در بذر گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) با تابع دوتکه‌ای و با درصد جوانه‌زنی توسط تابع دندانه‌ای، توصیف خوبی داشت و دماهای کمینه و بهینهٔ این گیاه به ترتیب برابر ۱۱ و ۳۵ درجهٔ سلسیوس بودند. نتایج آزمایش Jalilian & Kalili-Aghdam (2016) نشان دادند، دما تأثیر معنی‌داری بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر منداب (*Eruca sativa*) داشت، به‌طوری‌که سرعت جوانه‌زنی در دمای کمتر از ۰/۷۹ و بالاتر از ۴۷/۶ درجهٔ سلسیوس متوقف شد. در تحقیق Taherabadi et al. (2015)، دماهای مهم (دمای کمینه، بهینه و بیشینه) جوانه‌زنی بذرهای سه گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyamus nigar* L.) به ترتیب ۰/۶۶، ۳۱ و ۴۱ درجهٔ سلسیوس، تاج‌الملوک (*Aconitum napellus* L.) ۲/۸۴، ۱۱/۴۸ و ۴۱/۰۵ درجهٔ سلسیوس و شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) به ترتیب ۲/۶، ۲۶/۸ و ۴۲/۸ درجهٔ سلسیوس گزارش شدند. بر پایهٔ آزمایش‌های Kheirkhah et al. (2014) دماهای مهم بذر گیاه کاکوتی چندساله (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) بر پایهٔ سه مدل خطوط متقاطع، بتا و چندجمله‌ای برآورد شد که دماهای

1. Base temperature
2. Optimum temperature
3. Ceiling temperature

جوانه‌زنی ثابت شود انجام و در صورت نیاز پیش از بازگرداندن ظرف‌های پتری به اتاقک رشد (انکوباتور)، آب مقطر به میزان کافی به آن‌ها اضافه شد. به هنگام شمارش بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها به اندازه ۲ میلی‌متر و یا بیشتر خارج شده بود، جوانه‌زده تلقی شدند، شمارش بذرها تا هنگامی که شمار بذرها جوانه‌زده ثابت شدند ادامه داشته است.

به‌منظور کمی کردن سرعت جوانه‌زنی به دما، تعیین دماهای مهم و شمار ساعت‌های زیستی یا بیولوژیک (e_0) مورد نظر برای جوانه‌زنی از رابطه‌های زیر استفاده شد (Soltani et al., 2008):

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

$$R50 = f(t)/e_0 \quad (2)$$

سرعت جوانه‌زنی، D50 روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، $f(T)$ تابع دما بوده و دامنه آن بین صفر و یک است و e_0 شمار ساعت‌های زیستی مورد نظر برای جوانه‌زنی هستند. e_0 نشان‌دهنده کمترین شمار ساعت‌های مورد نیاز برای جوانه‌زنی در دماهای مناسب برای جوانه‌زنی بوده و بنابراین $1/e_0$ بیشترین سرعت جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. در این آزمایش پنج رابطه رگرسیونی دوتکه‌ای، درجه دوم، منحنی، دندان‌ای و بتا برای توصیف تغییر سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما برازش داده شدند که عبارت‌اند از:

(۱) تابع دوتکه‌ای (S) (Mwale et al., 1994):

$$f(T) = \begin{cases} \frac{(T-Tb)}{(To-Tb)} & \text{اگر } Tb < T \leq 0 \\ \left[1 - \left(\frac{T-To}{Tc-To}\right)\right] & \text{اگر } To \leq T < Tc \\ 0 & \text{اگر } T \leq Tb \text{ or } T \geq Tc \end{cases} \quad (3)$$

(۲) تابع درجه دوم (Q) (Mosjidid & Zhang., 1995):

$$f(T) = \left[\frac{1}{(T-Tb) \times (Tc-T) \times \left(\frac{Tc-Tb}{2}\right)^{-1}} \right] \quad (4)$$

(۳) تابع منحنی (C):^۴

$$f(T) = \left[\frac{1}{\left(\frac{Tc-To}{To-Tb} \times (T-Tb \times Tc - T)\right)^{\frac{Tc-To}{To-Tb}}} \right] \quad (5)$$

کمینه ۵ تا ۵/۸ درجه سلسیوس، بهینه ۲۲ تا ۲۲/۶ درجه سلسیوس و بیشینه ۳۹/۵ تا ۴۰/۵ درجه سلسیوس تعیین شدند. (Shamsi-Salari et al., 2013) در نتایج بررسی‌های خود رابطه میان دما، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی را در بذر گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) با استفاده از مدل درجه دوم به دست آوردند. آنان دریافتند دمای ۱۸ درجه سلسیوس بهترین دما برای جوانه‌زنی این گیاه است. به علت اینکه درباره دماهای مهم گیاهان خانواده مریم‌گلی، به‌ویژه گونه مروتلخ تحقیقات اندکی صورت گرفته است، هدف از این آزمایش تعیین دماهای مهم این‌گونه بوده است.

مواد و روش‌ها

واکنش جوانه‌زنی به تغییر دماهای مهم بذر گونه مروتلخ در هشت دمای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس در آزمایشگاه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان در سال ۱۳۹۴ بررسی شد. بذرهاي مورد استفاده در این آزمایش از شرکت باریج اسانس کاشان تهیه شدند. پیش از اجرای آزمایش اصلی، آزمون جوانه‌زنی بذرها به‌منظور سنجش قوه نامیه انجام شد و بذرهاي جوانه‌زده در شمارش اولیه در روز هفتم و شمارش نهایی در روز بیست و یکم انجام شد و قوه نامیه بذرها ۸۴ درصد به دست آمد. آزمایش اصلی در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در انکوباتور با دقت ± 0.5 درجه سلسیوس و شرایط به‌کلی تاریک اجرا شد. در هر تکرار ۲۵ عدد بذر سالم در ظرف‌های پتری با قطر ۹ سانتی‌متر به روش روی کاغذی^۱ (TP) قرار داده شد (ISTA, 2010). برای تأمین رطوبت مورد نیاز، پس از قرار دادن بذرها در همه ظرف‌های پتری، به هر ظرف پتری ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. پیش از اجرای آزمایش بذرها به مدت دو دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد غوطه‌ور و ضدعفونی سطحی شده و با آب مقطر فراوان شسته شدند. شمارش بذرهاي جوانه‌زده هر ۱۲ ساعت تا هنگامی که

2. Segmented
3. Quadratic
4. Curvilinear

1. Top of paper

درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، با افزایش دما از ۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش و پس از آن با افزایش دما کاهش یافتند. بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس (به ترتیب ۸۱ درصد و ۰/۰۲۱ عدد در ساعت) مشاهده شدند (جدول ۲).

میانگین‌های سرعت و درصد جوانه‌زنی در مقابل هشت سطح دمایی نشان داد، بیشترین سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر مروتلخ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بوده است و در دماهای ۵ و ۴۰ درجه سلسیوس هیچ‌گونه جوانه‌زنی مشاهده نشد. چنین به نظر می‌رسد که با افزایش دما از ۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و در دماهای بیشتر از ۲۰ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. پس از برازش مدل‌های مختلف برای توصیف سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما، به منظور معرفی بهترین و کارآمدترین مدل برای توصیف سرعت جوانه‌زنی در دماهای متفاوت، از فرانسجه‌های متفاوتی برای ارزیابی برازش مدل استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

این فرانسجه‌ها شامل ضریب تبیین مدل رگرسیون غیرخطی، انحراف معیار خطای مدل و شاخص آکائیک هستند. در ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی بین مدل‌هایی که پس از برازش رابطه خطی بین مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار به دست آمده از آن‌ها، عرض از مبدأ آن با صفر و ضریب رگرسیون آن با یک اختلاف غیر معنی‌دار داشته باشد، مدلی برتر خواهد بود که ضریب تبیین بالاتر و جذر میانگین مربعات خطای کوچک‌تری داشته و همچنین واجد کمترین شاخص آکائیک باشد. در ارتباط با رابطه خطی یادشده باید خاطرنشان کرد ضریب رگرسیون با اختلاف غیرمعنی‌دار از یک، بیانگر همخوانی بیشتر مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار سرعت جوانه‌زنی است و از سوی دیگر نبود اختلاف عرض از مبدأ صفر نشانگر این است که عرض از مبدأ خط رگرسیونی، از عرض از مبدأ خط ۱:۱ اختلاف معنی‌دار ندارد (Sabouri et al., 2012). شاخص‌های رابطه خطی یادشده و فرانسجه‌های مدل‌های غیرخطی ارزیابی شده در جدول ۳ ارائه شده

(۴) تابع دندانه‌ای (D):

$$f(T) = \frac{(T-T_b)}{(T_{o1}-T_b)} \quad \text{اگر } T_b < T < 0 \quad (۶)$$

$$f(T) = \frac{(T_c-T)}{(T_c-T_b)} \quad \text{اگر } T_{o2} < T < T_c$$

$$f(T) = 1 \quad \text{اگر } T_{o1} < T < T_{o2}$$

(۵) تابع بتا (B):

$$f(T) = \left[\left(\frac{T-T_b}{T_o-T_b} \times \frac{T_c-T_o}{T_o-T_b} \right)^{\frac{T_c-T_o}{T_o-T_b}} \right]^\alpha \quad (۷)$$

در این توابع، T_b دمای کمینه، T_{o1} دمای بهینه پایین (مطلوب حداقل)، T_{o2} دمای بهینه بالا (مطلوب حداکثر)، T_o دمای بهینه، T_c دمای بیشینه و α میزان انحنای تابع بتا (ضریب ثابت)، T دمای میانگین روزانه، b ، c و d ضریب‌های ثابت رگرسیون هستند. فرانسجه‌های بالا، عرض از مبدأ (a) و ضریب رگرسیون (b) با استفاده از رویه Proc NLIN در نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۱ برآورد شدند. مدل‌های برازش داده شده بر پایه جذر میانگین مربعات، ضریب تبیین و فرانسجه‌های مدل رگرسیون خطی و همچنین شاخص آکائیک (AIC) مقایسه شدند. این شاخص از رابطه زیر به دست آمد:

$$AIC = n_{obs} \ln(SSE) + 2n_{par} \quad (۸)$$

در این رابطه، AIC شاخص آکائیک (معیاری برای سنجش نیکویی برازش)، n_{obs} شمار مشاهده‌ها و n_{par} شمار فرانسجه‌های به کاررفته در هر مدل است. آزمون مقایسه ضریب رگرسیون و عرض از مبدأ با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین سطوح دمایی با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، تأثیر دما بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ در سطح احتمال ۱

1. Dent Like
2. Beta
3. Akaike Information Criterion

دوم و دوتکه‌ای به ترتیب بین ۱۷/۳۷ و ۲۲/۱۴ و بازه دمایی بهینه ۲۳/۸۰-۲۰/۶۷ در مدل دندانه‌ای برآورد شدند. همچنین دمای بیشینه با استفاده از چهار مدل درجه دوم، دوتکه‌ای، منحنی و دندانه‌ای بین ۳۹/۹۶ و ۴۱/۹۸ به دست آمدند. دمای کمینه برآورد شده با مدل‌های درجه دوم، دوتکه‌ای، منحنی و دندانه‌ای بین ۴/۱۸ تا ۵/۵۷ درجه سلسیوس برآورد شدند. در گیاه ارشته خطایی (*Lepyrodiclis holosteoides*) این دماها به ترتیب ۰/۳۲، ۲۴/۴ و ۵۳/۳۲ درجه سلسیوس گزارش شده‌اند (Mijani et al., 2012). در گیاه دارویی کاکوتی چندساله (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) دمای کمینه بین ۵ تا ۵/۸ درجه سلسیوس، بهینه بین ۲۲ تا ۲۲/۶ درجه سلسیوس و بیشینه بین ۳۹/۵ تا ۴۰/۵ درجه سلسیوس متغیر بوده است (Kheirkhah et al., 2014). افزون بر دماهای مهم، شمار ساعت‌های زیستی لازم برای جوانه‌زدن ۵۰ درصد از بذرها با استفاده از این مدل‌ها ۴۲/۸۴ تا ۵۹/۸۸ ساعت برآورد شد که وجود اختلاف دقت بین مدل‌های استفاده شده را نشان می‌دهد. به طوری که بالاترین دقت مربوط به برآورد مدل تکه‌ای و دندانه‌ای است که کمترین اشتباه استاندارد را دارند. (Ajam-Norouzi et al., 2007) این مدت را برای بذر گیاه باقلا بین ۶/۶۵ و ۹/۳۱ ساعت برآورد کردند. منحنی‌های مربوط به مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده سرعت جوانه‌زنی برای مدل‌های برتر همراه با رگرسیون خطی برای این مقادیر و ضریب تبیین رابطه در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مدل‌های خطی نیز بیشترین ضریب تبیین در آغاز برای مدل‌های دوتکه‌ای و دندانه‌ای (۰/۹۴)، سپس برای مدل منحنی (۰/۹۳) و برای مدل درجه دوم (۰/۹۰) به دست آمد مقادیر ضریب تبیین تصحیح شده (R^2 Adj) در جدول ۲ ارائه شده است.

است. مدل‌های برازش شده برای سرعت جوانه‌زنی در شکل ۱ نشان داده شده است. مدل بتا با توجه به اختلاف معنی‌دار ضریب رگرسیون خطی آن با یک ($P < 0.001$) مدل مناسبی نیست. اما برای دیگر مدل‌ها، بنا بر داده‌های مندرج در جدول ۳، ضریب رگرسیون خطی در مدل دوتکه‌ای و دندانه‌ای، ۰/۹۳۹، مدل درجه دوم ۰/۹۰۷ و مدل منحنی ۰/۹۲۲ است که اختلاف غیرمعنی‌داری از یک دارند و مقادیر احتمال معنی‌داری (Probability) آن‌ها به ترتیب ۰/۵۵۵۰، ۰/۴۶۵۰ و ۰/۴۷۶۰ به دست آمد. افزون بر آن در ارزیابی رگرسیونی ۱:۱ مدل‌ها، عرض از مبدأ این مدل‌ها به ترتیب دوتکه‌ای و دندانه‌ای، ۰/۰۰۰۶۲۳، درجه دوم ۰/۰۰۰۹۴۷ و منحنی ۰/۰۰۰۸۴۱ است. با توجه به اشتباه استاندارد یادشده اختلاف غیر معنی‌داری از صفر یا مبدأ خط رگرسیون دارند و مقادیر احتمال معنی‌داری (Probability) آن‌ها به ترتیب ۰/۶۳۳۰، ۰/۵۳۹۶ و ۰/۵۴۱۴ به دست آمد. شکل ۲ رابطه خطی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده بر پایه مدل را نشان می‌دهد. با توجه به توضیح‌های پیشین، مدل تکه‌ای از بین این سه مدل ضریب تبیین بالاتر، جذر میانگین مربعات خطای کمتر و شاخص آکائیک کمتر داشته و لذا به عنوان برترین مدل برای کمی‌سازی جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ نسبت به دما، تابع دوتکه‌ای شناسایی شد. دماهای مهم مروتلخ با استفاده از چهار مدل درجه دوم، دوتکه‌ای، منحنی و دندانه‌ای محاسبه شدند. در این شکل منحنی‌های رسم شده بر پایه نتایج مشاهده شده و پیش‌بینی شده مدل‌های درجه دوم (شکل ۱-a)، دوتکه‌ای (شکل ۱-b)، منحنی (شکل ۱-c) و دندانه‌ای (شکل ۱-d) برازش شده‌اند. در جدول ۴ دماهای کمینه، بهینه و بیشینه با استفاده از مدل‌های مناسب ارائه شده‌اند. دمای بهینه با استفاده از مدل‌های درجه

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ تحت تأثیر دماهای مختلف

Table 1. ANOVA of mean square of *Salvia mirzayanii* germination characteristics affected by different temperature

Source of variation	df	Germination percent	Germination rate
Temperature	7	3573.64**	0.00025**
Error	24	7.16	0.0000017
Coefficient of variation (%)		7.30	13.13

** Significant at 1% probability level.

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۲. مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ

Table 2. Mean comparison of *Salvia mirzayanii* seed germination rate and percentage

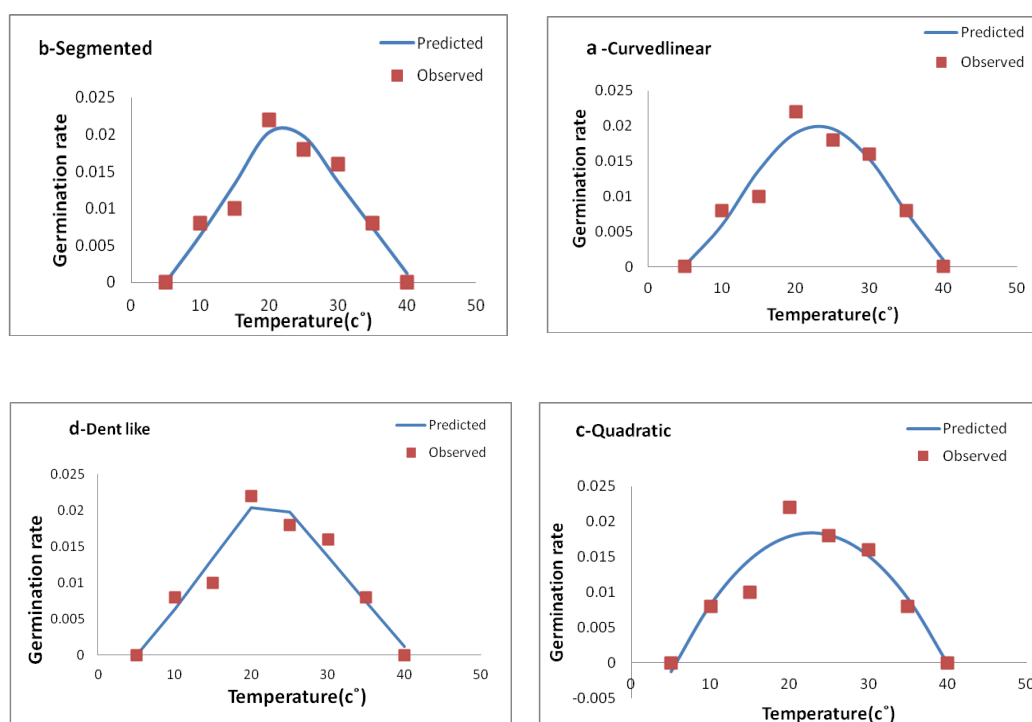
Temperature (°C)	Germination percent (%)	Germination rate (number of germinated seeds in hour)
5	0.00g	0.00d
10	28.00e	0.008c
15	48.00d	0.009c
20	81.00a	0.021a
25	64.00b	0.018b
30	54.00c	0.016b
35	18.00f	0.008c
40	0.00g	0.00d

جدول ۳. فراسنجه‌های ارزیابی برازش مدل‌های غیرخطی شامل؛ جذر میانگین مربعات خطا (Root MSE)، ضریب تبیین مدل غیرخطی ($Adj R^2$)، شاخص آکائیک (AIC) و ضریب رگرسیون (b)، عرض از مبدأ (a)، ضریب تبیین (r^2) مربوط به رابطه خطی بین مقادیر سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده حاصل از هر مدل غیرخطی در گیاه مروتلخ

Table 3. Fitting nonlinear model parameters including RMSD, $Adj R^2$, AIC and b, a, r^2 related to linear regression observed and predicted germination rate for each nonlinear model

Nonlinear regression parameters				linear regression parameters			
Nonlinear model	Root MSE	$Adj R^2$	AIC	Root MSE	$Adj R^2$	b±SE	a±SE
Quadratic	0.0028	0.869	-74.62	0.00251	0.8921	0.9075±0.118	0.00094±0.0015
Curvilinear	0.0027	0.879	-75.05	0.00218	0.9195	0.9224±0.102	0.00084±0.0013
Dent like	0.0026	0.860	-74.15	0.00207	0.9290	0.9392±0.097	0.00062±0.0012
Segmented	0.0026	0.895	-76.15	0.00207	0.9290	0.9392±0.097	0.00062±0.0012
Beta	0.0109	-*	-51.13	0.000076	0.8779	0.0258±0.0036	0.0125±0.00004

*: با توجه به برازش نشدن مناسب مدل بتا، میزان حقیقی برای این شاخص به دست نیامد.

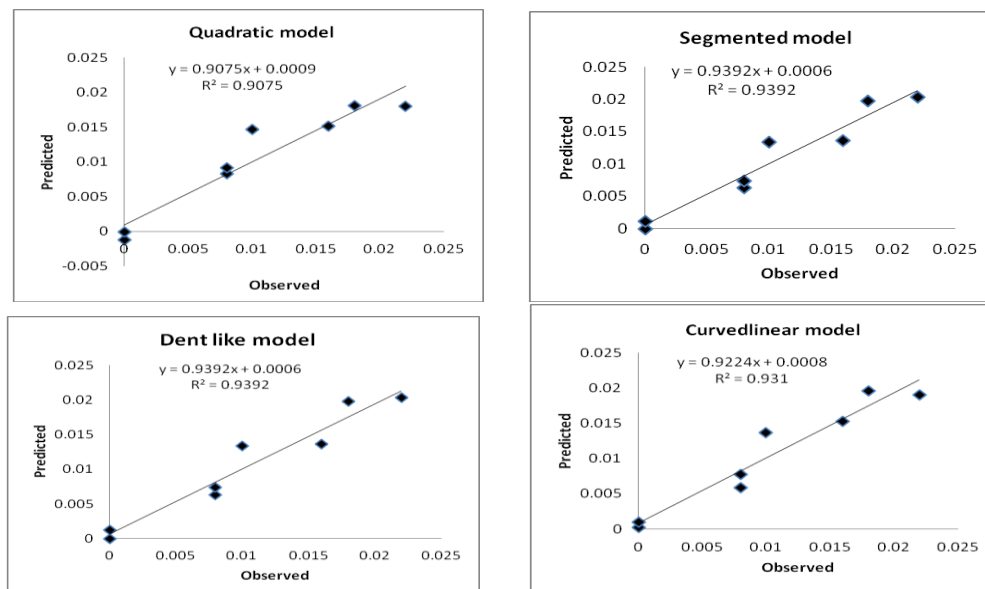


شکل ۱. دماهای مهم سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ با استفاده از مدل‌های منحنی، دوتکه‌ای، درجه دوم و دندان‌های
Figure 3. Cardinal temperature for germination rate of *Salvia mirzayanii* seeds using curvedlinear, segmented, quadratic and dent like models

جدول ۴. فراسنجه‌های برآوردشده با استفاده از مدل‌های برتر شناسایی شده شامل دمای کمینه (Tb)، دمای بهینه (T0)، (T01) دمای بهینه پایین، (T02) دمای بهینه بالا، دمای بیشینه (Tc) و شمار ساعت‌های زیستی (e0) برای جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرهای گیاه مروتلخ

Table 4. Estimated parameters using the best identified model including Tb, To, Tc and e₀ for germination 50% of seeds

Nonlinear regression model	Tb±SE	T0±SE	T01±SE	T02±SE	Tc±SE	e ₀
Quadratic	5.57±1.06	-	-	-	39.96±1.12	54.22±4.56
Curvilinear	4.18±6.006	17.37±9.86	-	-	41.98±5.89	59.88±39.37
Segmented	5.47±2.74	22.14±1.55	-	-	40.84±1.91	42.84±3.75
Dent like	5.47±2.74	-	20.67±1.85	23.80±1.95	40.96±1.91	47.00±0.00



شکل ۲. رابطه رگرسیونی سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده برای مدل‌های برتر در جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ
Figure 4. Regression relationship between the observed and predicted germination rate using the best models in *Salvia mirzayanii* seed germination

از این دما به تدریج کاهش می‌یابد همخوانی دارد. در آزمایش روی سه گیاه بنگ‌دانه، تاج‌الملوک و شاهدانه در بازه دمایی ۱۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس، بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد اما دمای بهینه در سه گیاه به ترتیب ۳۱، ۱۱ و ۲۶ درجه گزارش شده است (Taherabadi *et al.*, 2015). در گونه *Salvia aegyptiaca* L. بازه دمایی بین ۱۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس مشخص شد و دمای ۳۰ درجه سلسیوس به‌عنوان دمای بهینه معرفی شد (Gorai *et al.*, 2010). بدین ترتیب با استفاده از دماهای مهم برآورد شده می‌توان مدل‌های پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه مروتلخ را ارزیابی کرد. همچنین به‌منظور تأمین بهینه نیازهای دمایی رقم‌های مختلف گیاه مروتلخ در طول جوانه‌زنی پیشنهاد می‌شود این گیاه در مناطقی کشت شود که دما در فصل‌های کشت با دمای مهم این گیاه همخوانی داشته باشد.

فراسنجه‌های برآوردشده در مدل دوتکه‌ای برای دمای کمینه، بهینه، بیشینه به ترتیب ۵/۴۷، ۲۲/۱۴، ۴۰/۸۴ درجه سلسیوس و شمار ساعت‌های زیستی ۴۲/۸۴ ساعت بودند، همچنین در مدل دندان‌های به دلیل اختلاف اندک از مدل دوتکه‌ای می‌توان بازه دمایی بهینه ۲۳/۸۰-۲۰/۶۷ را در نظر گرفت. در واقع گیاه مروتلخ برای آغاز جوانه‌زنی به دمایی حدود ۵ درجه سلسیوس نیازمند است، به تدریج با بالا رفتن دما تا دمای بهینه کمترین میزان جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به نقطه بهینه جوانه‌زنی، با افزایش بیشتر دما از دمای بهینه بالا، جوانه‌زنی آن کاهش می‌یابد. همچنین در دامنه دمایی بهینه پایین (T01) و بیشینه (T02) بیشترین سرعت جوانه‌زنی را می‌توان مشاهده کرد. نتایج این آزمایش با نتایج Shamsi-Salari *et al.* (2013) روی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) مبنی بر اینکه سرعت جوانه‌زنی بذر این گیاه از دمای ۱۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس افزایش و پس

REFERENCES

1. Abdollahi, J., Ebrahimi, M., Ramshini, H., Ashraf-Jaafari, A., Eftekhari, M., Siah-Mansouri, Y. & Sheikh-Beig-Goharrizi, M. (2012). Seed germination as the major conservation issue of endemic Iranian *Salvia* species. *Journal of Medical Plants Research*, 6, 37-46.
2. Alvorado, V. & Bradford, K. J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. *Plant, Cell & Environment Journal*, 25, 1061-1069.
3. Ajam-Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E. & Homaei, M. (2007). Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 14(4), 1-12. (in Farsi)
4. Bewley, J. D. & Black, M. (1994). *Seeds; physiology of development and germination*. Plenum Press, New Yourk, USA.
5. Etesami, M., Rahemi-Karizaki, A. & Torabi, B. (2015). Quantifying germination response of hibiscus tea (*Hibiscus sabdariffa*) seeds to temperature. *Iranian Journal of Seed Research*, 2(1), 73-81.
6. Flores, J. & Briones, O. (2001). Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environment*, 47, 485-479.
7. Ghani, A., Ebrahimpour, A., Tehrani-Far, A. & Hassanzadeh-Khayyat, M. (2010). Evaluation of growth and development adaptability and medicinal ornamental potential of clary sage (*Salvia sclarea* L.) cultivated in Mashhad climate conditions. *Journal of Plant Production*, 17, 77-90. (in Farsi)
8. Gorai, M., Gasmi, H. & Neffati, M. (2011). Factors influencing seed germination of medicinal plant *Salvia aegyptiaca* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18, 255-260.
9. Hajebi, A. & Soltanipoor, M. A. (2006). Influence of location and pre-treatments on seed germination of *Salvia mirzayanii* Rech. f. & Esfand. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22, 231-241. (in Farsi)
10. International Rules for Seed Testing Association. (2010). Handbook of vigor test methods, *International Rules for Seed Testing Association*, Zurich, Switzerland, pp. 57.
11. Jalilian, J. & Khalili-Aghdam, N. (2016). Effect of alternative temperature on germination rate of Rocket seed (*Eruca sativa*). *International Journal of Seed Research*, 2(1), 127-133. (in Farsi)
12. Kebreab, E. & Murdoch, A. J. (2000). The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobancha aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research*, 10, 127-133.
13. Kheirkhah, M., Kochaki, A., Rezvani-Moghaddam, P. & Nasiri-Mahalati, M. (2014). Determination of cardinal temperatures of *Ziziphora clinopodioides* Lam. Germination. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11, 543-550. (in Farsi)
14. Khoshnoud, M. J., Moein, M. R., Rafati, A. & Memar-Kermani, A. H. (2014). The effect of essential oil of *Salvia mirzayanii* on learning and memory in mice using the passive avoidance learning methods. *Journal of Kashan University of Medical Sciences*, 18, 317-324. (in Farsi)
15. Mijani, S., Ghanbari, A., Serajchi, M. & Dehghan, A. (2012). Determination of cardinal temperature of *Lepyrodiclis* (*Lepyrodiclis holosteoides*). In: Proceedings of 12th Iranian Crop Sciences Congress. 4-6 Sep., Karaj, Iran. (in Farsi)
16. Mosjidis, J. A. & Zhang, X. (1995). Seed germination and root growth of several *Vicia* species at different temperatures. *Seed Science and Technology*, 23(3), 749-759.
17. Mozaffarian, V. (2004). *A Dictionary of Iranian Plants Names*. Farhange Moaser Press, Tehran, 671p. (in Farsi)
18. Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N. & Clark, J. A. (1994). Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Asian Journal of Plant Science and Technology*, 22(3), 567-571.
19. Rechinger, K. H. (1982). *Flora Iranica, Labiatae*. Akademische Druck-U Press, Graz-Austria, 150: 347, 440, 479.
20. Sabouri, H., Sabouri, A. & Dadras, A-R. (2012). Modeling the response of germination rate of different rice genotypes to temperature. *Journal of Cereal Research*, 2(2), 123-135. (in Farsi)
21. Shamsi-Salari, V., Sedghi, M. & Seyed-Sharifi, R. (2013). Effect of temperature and drought on *Salvia officinalis* germination. In: Proceedings of 2nd National Electronic Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, 30 Sep. Tehran, Iran. (in Farsi)
22. Soltani, E., Akram-Gaderi, F. & Soltani, A. (2008). Application of germination modeling on the response to temperature and water potential in seed science and research. In: Proceeding of 1st National Conference of Seed Science and Technology in Iran. Gorgan, Iran. 445p. (in Farsi)
23. Taherabadi, Sh., Goldani, M., Taherabadi, Sh. & Fazeli-kakhaki, F. (2015). Determination cardinal temperature of *Hyscyamus niger* L., *Aconitum napellus* L. and *Cannabis sativa* L. seeds germination. *Journal of Plant Protection*, 29(1), 16-22. (in Farsi)