

مطالعه جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana*) در پاسخ به دما و تعیین دمای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی

محمدشاهین دانشمندی^{۱*}، رضا توکل افشاری^۲، رضا صدرآبادی حقیقی^۳

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۲- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۳۰)

چکیده

در این پژوهش خصوصیات زیستی بذر گیاه دارویی بالنگو شیرازی در واکنش به دما مورد ارزیابی قرار گرفت. برای کمی‌سازی جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال^۱ از چهار تابع دندان مانند، دوتکه‌ای، مدل بتا و چند جمله‌ای درجه دوم و برای توصیف مدل برتر از ضرایب رگرسیونی (a و b)، ضریب تبیین چندگانه (R^2)، ضریب همبستگی (r) و سطح معنی‌داری توابع بین زمان (ساعت) جوانه‌زنی مشاهده شده و زمان (ساعت) جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد. نتایج نشان داد جوانه‌زنی بالنگو شیرازی در دامنه دمایی ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد امکان‌پذیر است. بالاترین درصد جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه در دمای ۲۰ درجه به وقوع پیوست (۹۸/۵ درصد). بیشترین رشد گیاهچه و کمترین زمان تا ظهور ساقه‌چه نیز در همین دما رخ داد (به ترتیب ۶۰/۰۳ میلی‌متر و ۵۸ ساعت). براساس نتایج برازش مدل‌های رگرسیونی غیرخطی، واکنش جوانه‌زنی نسبت به دما توسط مدل دوتکه‌ای بهتر از سه مدل دیگر توصیف شد، لذا برای کمی‌سازی پارمترهای زیستی و ظهور گیاهچه بالنگو شیرازی می‌توان از این تابع استفاده کرد. با استفاده از این مدل، دمای کمینه، بهینه و دمای بیشینه جوانه‌زنی بذر بالنگو شیرازی به ترتیب در دمای ۱، ۲۲/۶ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. دستاوردهای این پژوهش نشان داد بالنگو شیرازی یک گیاه سرما‌پسند بوده و جوانه‌زنی آن در دامنه دمایی ۲۰ تا ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد نتایج مطلوب را در پی خواهد داشت. در این پژوهش معادلاتی جهت بررسی همزمان جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در واحد زمان ارائه شد که با عنوان «ارزش جوانه‌زنی (GV)» معرفی گردید.

واژگان کلیدی: ارزش جوانه‌زنی، کمی‌سازی جوانه‌زنی، مدل دوتکه‌ای

The Study of Seed Germination and Seedling Growth of Balangu (*Lallemantia royleana* (Benth.) Benth. in Wall) in Response to Temperature and Quantification of Cardinal Temperatures Using Nonlinear Regression Models

M.S. Daneshmandi, R. Tavakkol Afshari, R. Sadrabadi Haghghi

1. Lecturer, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran

2. Professors, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

(Received: Jun. 04, 2017– Accepted: Aug. 21, 2011)

Abstract

In this research, biological characteristics of Balangu seed in response to temperature were evaluated. Germination responses and cardinal temperatures were evaluated using dent-like, segmented, beta and quadratic regression models and regression coefficients (a and b), correlation of determinant (R^2), correlation coefficient (r), and significant level functions of predicted values versus observed ones were used to find the appropriate models. The results showed that the germination of Balangu is possible at a range of 5 to 25 °C. The highest germination percentage was detected at 20°C (98.5%). Moreover, at 20°C temperature the highest seedling growth and less time to shoot emergence (60.03 mm and 58 h respectively) was detected. Segmented model was superior compared to other models, therefore, this model is recommended for quantifying biological parameters and seedling emergence of Balangu. Temperatures of 1°C, 22.6°C and 30°C were the cardinal temperatures for seed germination (minimum, optimum and maximum, respectively). According to the results of this research, Balangu is the psychrophile plants and appropriate temperature germination is 20°C to 22.6°C. In this research, a proposed equation entitled of "Germination Value (GV)" for the simultaneous evaluation of seed germination and seedling growth per unit of time was introduced.

Key Words: Germination Value, Quantifying Germination, Segmented Models

* Email: daneshmandi@Torbath.ac.ir

1. Cardinal

2. Germination Value

آن ستر و انباشته می‌شود (Hedge, 1970; Ryding, 2001). موسیلاژ متابولیت‌های پیچیده‌ای است که در آب و الکل‌ها نامحلول‌اند ولی به شدت جاذب آب بوده و در نتیجه باعث اتصال بهتر بذر به ذرات کلونیدهای خاک می‌شوند. غالباً گیاهانی که بذر آنها حاوی موسیلاژ است از گیاهان مقاوم به خشکی محسوب می‌شوند (Daneshmandi *et al*, 2011). با این حال مطمئناً علاوه بر رطوبت قابل دسترس، دما از مهمترین عوامل تعیین کننده پتانسیل تولید یک گیاه است. بنابراین تشخیص دما بحرانی یک گیاه لازمه جوانه‌زنی سریع، رشد یکنواخت و استقرار بهینه گیاهچه خواهد بود (Soltani *et al*, 2006). در سال ۱۸۶۰ مشخص شد جوانه‌زنی دانه‌های یک گونه خاص در طیف معینی از دما قادر به جوانه‌زنی هستند که به آن دمای کاردینال گویند (Bewley and Black 1994). جوانه‌زنی در سه دامنه دمایی شامل دمای کمینه (T_b - دمای که کمتر از آن جوانه‌زنی روی نمی‌دهد)، دمای بیشینه (T_c - دمای که بالاتر از آن جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد) و دمای بهینه (T_o - بهترین دما از نظر سرعت جوانه‌زنی) رخ می‌دهد (Alvarado and Bradford, 2002). روابط ریاضی و مدل‌های مختلفی برای تعیین دمای کاردینال معرفی شده است که روش‌های هیدروترمال تایم و رگرسیون‌های غیرخطی شامل توابع دندان مانند، دو تکه‌ای، بتا، چند جمله‌ای درجه دوم و چند جمله‌ای درجه سوم از آن جمله‌اند (Alvarado and Bradford, 2002; Soltani *et al*, 2006).

ارزش جوانه‌زنی، یک پارامتر کارآمد

در مطالعات تکنولوژی بذر، مبنای درصد و سرعت جوانه‌زنی، ظهور ریشه‌چه است. خروج ریشه‌چه در مرحله III جوانه‌زنی به عوامل ذاتی مانند قدرت بذر و شرایط محیطی (دما، رطوبت و نور در بذرهای فتوبلاستیک^۶) بستگی دارد لیکن رشد ریشه‌چه به تنهایی تکافوی فرآیند جوانه‌زنی نیست. چه بسا چنین رشد ریشه‌چه‌ای از حداقل قدرت برای جذب آب و املاح و ادامه فرایند جوانه‌زنی

مقدمه

گیاه دارویی بالنگو شیرازی با نام علمی *Lallemantia royleana* (Benth.) Benth.in Wall ایران، آسیای مرکزی، قفقاز و ترکیه می‌باشد. تحقیقات باستان شناسی و کشف خمره‌های آکنده از دانه‌های جنس *Lallemantia* در مناطق تاریخی شمال یونان^۱ نشانه اهمیت این گیاه دارویی از دیرباز تا به امروز است. این احتمال وجود دارد که خصوصیات مهم دارویی بالنگو شیرازی سبب انتقال آن توسط بازرگانان یا محققان علوم دارویی از سرزمین‌های شرقی به اروپا شده است (Rivera Nunez and Castro, 1992; Jones and Valamoti, 2005). در ایران رویشگاه‌های طبیعی این گیاه دارویی ارزشمند و کمتر شناخته شده در دشت‌ها و ارتفاعات نیمه خشک و سرد بخصوص ارتفاعات شمالی کوه‌های بینالود و دشت‌های خراسان بزرگ وجود دارد. این گیاه علفی، یک‌ساله، یک‌پایه، دگر گرده افشان و معطر از تیره نعناع^۲ می‌باشد (Rechinger, 1982; Kooohdar *et al*, 2016). بالنگو شیرازی گیاهی کم توقع بوده که شوری را بیش از کم آبی تحمل می‌کند (Daneshmandi, 2013)، با این وجود محتوای موسیلاژی بذر در تنش متوسط کم آبی روند افزایشی دارد (Pirjalili and Omid, 2017). مهمترین اجزاء اسانس ووربنان^۳ (۱۶/۹ درصد) و ترنس کاروئول^۴ (۹/۸ درصد) است که از پیکر رویشی گیاه بدست می‌آید (Ghannadi and Zolfaghari, 2003). تمام اندام رویشی بالنگو شیرازی خوراکی است ولی بذرها بخش اقتصادی این گیاه را تشکیل می‌دهد که حاوی روغن (بین ۱۹/۲۶ درصد تا ۴۲/۲ درصد) و موسیلاژ فراوان (تا ۲۸/۷ درصد) است (Abdolahi and Maleki Farahani, 2015; Daneshmandi *et al*, 2017). فندقه این جنس از نوع میکسوکاری^۵ است و موسیلاژ در سلول‌های اگزوکارپ

1. Mandalo, Archondiko and Assiros
2. Lamiaceae
3. Verbenone.
4. Trans-Carveol
5. Myxocarpy
6. Photoblastic Seed

جوانه‌زنی آن گزارش نشده است، لذا هدف این پژوهش کمی‌سازی جوانه‌زنی و کنکاش پیرامون شرایط اولیه رشد و نمو گیاهچه در پاسخ به دما بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده علوم کشاورزی در بهار سال ۱۳۹۲ انجام شد. بذره‌های بالنگو شیرازی از رویشگاه‌های طبیعی آن واقع در دشت‌های توابع شهرستان کلات نادری به عنوان یکی از مراکز مهم تولید طبیعی این گیاه دارویی در شمال غربی استان خراسان رضوی و در حد فاصل ۲۰۰ کیلومتری شهر مشهد جمع‌آوری گردید. سپس بذرها و گیاه مادری با نمونه هرباریومی پژوهشکده گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تطبیق و اصالت‌توده کلات جنس *Lallemantia royleana* تایید شد.

آزمون جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال در ۷ تیمار دمایی (۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و ۴ تکرار (هر واحد آزمایشی حاوی ۵۰ عدد بذر سالم) در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی و در شرایط نوری (با استفاده از نور ترکیبی LED) در ژرminatور دیجیتال با دقت ± 0.3 درجه سانتی‌گراد اجرا شد. از پتری استریل یکبار مصرف ۹۰ میلی‌متری به عنوان واحد آزمایش استفاده گردید. در هر پتری دو عدد کاغذ صافی از نوع واتمن شماره یک قرار گرفت و بذرها پس از گندزدایی سطحی به آن منتقل شد. با توجه به نتایج بدست آمده و اختلاف زیاد بین تیمارهای دمایی و برای به حداقل رسانده خطای آزمایش، آزمون جوانه‌زنی برای بار دوم با همان ویژگی اولیه تکرار گردید که نتایج حاصل (با اندکی تغییر) نتایج آزمون اولیه را تایید کرد.

۱) صفات جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی و زمان ظهور ساقه‌چه هر ۸ ساعت یکبار (سه نوبت در روز) مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت زمان بین آبنوشی بذر تا زمان باز شدن کامل برگ‌های

برخوردار نباشد. لذا با قاطعیت نمی‌توان خروج ریشه‌چه را انتهای فرایند جوانه‌زنی قلمداد کرد. بنابراین برای تایید جوانه‌زنی موفق یک بذر باید از پارامتری سود جست که رشد اولیه ساقه‌چه در واحد زمان را در کنار صفات جوانه‌زنی بررسی کند. بدیهی است درصد جوانه‌زنی بر وضعیت شرایط محیطی دلالت دارد و ظهور ریشه‌چه نیز مستلزم قدرت بذر و جنین سالم و هیدرولیز مواد ذخیره‌ای است، ولی ظهور ساقه‌چه و برگ‌های اولیه بیانگر خاتمه رشد هتروتروفیک^۱ و آغاز فعالیت اتوتروفیک^۲ گیاهچه می‌باشد (Daneshmandi, 2013).

ارزش جوانه‌زنی یک معادله ریاضی است که به فرآیند جوانه‌زنی از آبنوشی بذر و ظهور ریشه‌چه تا رشد ساقه‌چه می‌پردازد. بدین ترتیب نه تنها عوامل محیطی، سلامت و قدرت ذاتی بذر بلکه اندامک‌های رشد یافته در واحد زمان نیز مورد کنکاش قرار می‌گیرند. بر این اساس، نتایج ارزش جوانه‌زنی (صرف نظر از دمای کاردینال) می‌تواند بهترین دمای جوانه‌زنی در محیط آزمایشگاه را توصیف کند. فرمول و ضرایب ارزش جوانه‌زنی در بخش مواد و روش‌ها مندرج است.

بالنگو شیرازی از جمله گیاهان دارویی اندمیک ایران است که غالباً از عرصه جمع‌آوری شده و تنها در بخش محدودی از خراسان بزرگ کشت می‌گردد (Koocheki et al, 2004). موجودی موسیلاژ بذر بالنگو شیرازی به مراتب بیش از اسفرزه، ریحان و بارهنگ است (Daneshmandi et al, 2011) و از نقطه نظر اقتصادی و تولید موسیلاژ بر گیاهان دارویی مشابه ارجحیت داشته و می‌تواند یک گیاه مناسب و قابل توصیه برای زمین‌های کم‌نهاد و فقیر باشد. بنابراین اطلاع از شرایط و خصوصیات اکولوژیکی و بخصوص درجات دمایی آن جهت اهلی‌سازی لازمه تدام کشت و کار انبوه این گیاه دارویی خواهد بود. تاکنون هیچ تحقیقی مبتنی بر تعیین نیازهای دمای بالنگو شیرازی و تعیین دمای کاردینال

1. Heterotrophic
2. Autotrophic

(Daneshmandi, 2013).

۲) کمی سازی جوانه‌زنی

برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال و همچنین ساعت زیستی مورد نیاز برای جوانه‌زنی (ساعات مورد نیاز برای جوانه‌زنی در شرایط دمایی بهینه، به عبارت دیگر زمان صرف شده از هنگام کاشت بذر تا تکمیل فرآیند جوانه‌زنی و خروج ریشه‌چه) از فرمول زیر استفاده شد (Soltani *et al.*, 2006):

$$1/D_{50} = f(T)e_0$$

که در این فرمول $1/D_{50}$ سرعت جوانه‌زنی، $f(T)$ تابع دمایی و e_0 تعداد ساعات زیستی مورد نیاز برای جوانه‌زنی است. e_0 مین کمترین زمان جهت جوانه‌زنی در دمای بهینه است. در این آزمایش از چهار تابع (مدل) دمایی برای توصیف تغییرات سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما استفاده شد.

تابع دو تکه‌ای^۱ (S)

(Ritchie and NeSmith, 1991)

$$f(T) = \begin{cases} \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} & \text{if } T_b < T \leq T_o \\ \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} & \text{if } T_o < T < T_c \\ f(T) = 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases}$$

تابع بتا^۲ (B)

(Yin *et al.*, 1995)

$$f(T) = \begin{cases} \left[\frac{\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \times \frac{T_c - T}{T_c - T_o}}{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}} \right]^\alpha & \text{if } T_b < T < T_c \\ f(T) = 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases}$$

اولیه گیاه به عنوان ظهور ساقه (بر اساس ساعت) مد نظر قرار گرفت، به عبارت دیگر زمان ظهور ساقه چه مدت زمانی است که بذر از حالت هتروتورفیک به شرایط اتوتروفیک رسیده و امکان فتوسنتز محیا شود. طول ریشه‌چه، به صورت روزانه و طول ساقه‌چه در انتهای آزمایش اندازه‌گیری و ثبت گردید. وزن خشک هر گیاهچه نیز با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱ گرمی تعیین شد. معیار بذره‌های جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود که توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد (Hampton and Tekroy, 1995). شمارش بذره‌های جوانه‌زده تا زمانی ادامه پیدا کرد که سه روز متوالی دیگر هیچ جوانه‌زنی رخ نداد. در انتهای آزمایش درصد جوانه‌زنی به روش زیر مشخص گردید (Ellis and Roberts, 1981):

$$GP = \frac{\sum n_i}{N} \times 100$$

که در آن n تعداد بذره‌های جوانه زده در روز i ام و N تعداد کل بذره‌های هر تیمار بود.

سرعت جوانه‌زنی توسط برنامه جرمین^۱ محاسبه شد. این برنامه مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد را از طریق درون‌یابی^۲ منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی در این برنامه از طریق معکوس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی ($1/D_{50}$) محاسبه گردید (Soltani and Maddah, 2010).

برای تعیین ارزش جوانه‌زنی از فرمول ذیل استفاده گردید:

$$GV = \frac{GP \times GR}{STE \times 100}$$

که در آن GP درصد جوانه‌زنی، GR سرعت جوانه‌زنی و STE مدت زمان طی شده از هنگام آبنوشی تا ظهور برگ‌های اولیه بر حسب ساعت می‌باشد. معیار رشد ریشه‌چه ۲ میلی‌متر و برای ساقه‌چه تکامل برگ‌های اولیه است. با توجه به حذف واحد از طرفین کسر، ارزش جوانه‌زنی فاقد واحد متریک می‌باشد

1. Germin
2. Interpolation
3. Shoot Time Emergence
4. Segmented
5. Beta

پذیرفت (Soltani, 2006). از نرم افزار SAS جهت کمی سازی جوانه‌زنی و نیز برای برآزش توابع از نرم افزار Statistica و جهت رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

(۱) نتایج جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد پارامترهای جوانه‌زنی و صفات متریک گیاهچه در سطح احتمال حداکثر و وزن گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در مدت آزمایش جوانه‌زنی بالنگو شیرازی در دمای ۵ درجه آغاز و در ۳۰ درجه سانتی‌گراد متوقف شد. درصد جوانه‌زنی بین سه سطح دمایی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲)، ولی از نظر عددی بهترین نتایج در ۲۰ درجه با ۹۸/۵ درصد بدست آمد. درصد جوانه‌زنی از دمای ۱۰ به ۵ درجه، ۹۱ درصد و از ۲۰ به ۲۵ درجه ۵۹/۵ درصد کاهش داشت (شکل ۱).

این نتایج نشان داد دامنه دمایی که بذر بالنگو شیرازی قدرت جوانه‌زنی دارد بسیار محدود است در حالی که جوانه‌زنی زیره سیاه (*Bunium persicum* L.) پس از شکستن خواب بذر از دمای ۱۸ درجه آغاز و تا ۴۶ درجه سانتی‌گراد ادامه داشت (Bonyanpour and Khosh-Khui, 2001)، همچنین تغییر درصد جوانه‌زنی در گیاه دارویی و اندمیک پونه‌سای بینالودی (*Nepeta binaludensis*) از ۱۵ درجه تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد اختلافی ۸/۵ درصدی را نشان داد (Bannayan et al, 2006). با استناد به نتایج حاصل و قیاس آن با دستاوردهای سایر محققین استنباط می‌شود دما یک عامل اساسی و تعیین کننده در کشت و پرورش این گیاه دارویی باشد. سرعت جوانه‌زنی نیز دارای اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح ۱ درصد بود (جدول ۲). بر این اساس بالاترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه

تابع دندان مانند^۱ (D)

(Piper et al., 1996)

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

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

$$f(T) = 1 \quad \text{if } T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$$

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

تابع چند جمله‌ای درجه دوم^۲ (Q)

(Mosjidis, and Zhang, 1995)

$$f(T) = \left[(T - T_b) \times (T_c - T) \times \left(\frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2} \right]$$

در این روابط T متوسط دما (دمای مورد بررسی)، T_b دمای کمینه، T_o دمای بهینه (اُپتیمم)، T_{o1} کمترین دمای مطلوب، T_{o2} بالاترین دمای مطلوب (در تابع دندان مانند)، T_c دمای بیشینه و α مقدار انحنای تابع بتا است (Soltani et al, 2006).

تخمین پارامترهای هر مدل به کمک رویه PROCNLIN توسط نرم افزار آماری SAS 9.1.3 انجام شد. در روش مطلوب سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان دوم تخمین زده می‌شود. در این پژوهش جهت تشخیص مدل برتر از جذر میانگین مربع انحراف^۳ (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب همبستگی (r) و ضرایب رگرسیون خطی (a و b) بین سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده و سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد.

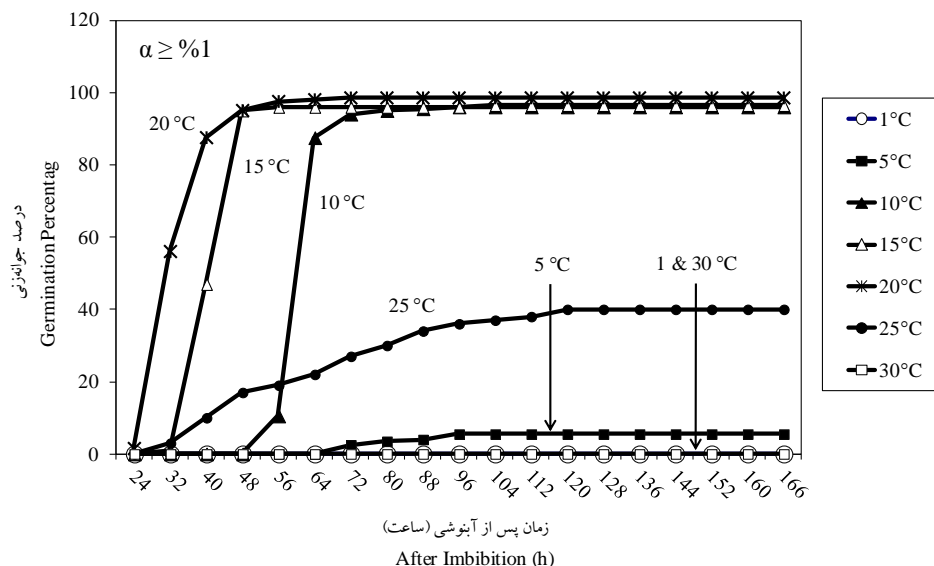
(۳) آنالیز آماری

تجزیه واریانس توسط نرم افزار SPSS-16 و میانگین تیمارها با استفاد از روش PLSD^۴ در سطح ۱ درصد انجام

1. Dent-Like
2. Quadratic
3. Root Mean Square Error (RMSE)
4. Protected Least Significant Difference

کاهش داد (Bannayan et al, 2006).
 کاهش داد (Bannayan et al, 2006).
 کاهش داد (Bannayan et al, 2006).

۰/۰۳۲۲ (ساعت/۱) بود، از طرفی جوانه‌زنی در دمای ۱ و ۳۰ درجه زخ نداد. کاهش دما از ۲۰ به ۱۵ درجه در برخی گیاهان دارویی اندمیک ایران از جمله پونه‌سای بینالودی (*Nepeta binaludensis*) سه برابر، در پونه‌سای انبوه



شکل ۱- جوانه‌زنی تجمعی بالنگو شیرازی در دمای مختلف بر حسب ساعت

Figure 1- Balangu seed germination cumulative at different temperatures (h)

نداشت. در دمای بالاتر و پایین‌تر از دمای بهینه، رشد ریشه‌چه افزایش داشت ولی این افزایش از یک روند خاص پیروی نکرد. کمترین زمان برای ظهور ساقه‌چه در دمای ۲۰ درجه بود (۵۸ ساعت پس از آبنوشی) و بیشترین زمان در دمای ۱۰ درجه وجود داشت (۱۳۶ ساعت پس از آبنوشی). در دمای ۱، ۵ و ۳۰ درجه نیز تا انتهای آزمایش (۱۶۸ ساعت پس از آبنوشی) ظهور و رشد ساقه‌چه مشاهده نشد. نتایج نشان داد وزن خشک گیاهچه در دمای ۲۰ درجه (۰/۲۲۵ گرم) نسبت به دمای ۱۵ درجه ۴۰ درصد و نسبت به دمای ۲۵ درجه ۵ برابر بیشتر بود.

کاهش رشد و نمو گیاهچه در دمای پایین‌تر و بالاتر از دمای بهینه می‌تواند ناشی از القاء شرایط تنش (تنش سرما یا تنش گرما) باشد. حرارت‌های بالاتر از دمای بهینه در زمان آبنوشی می‌تواند از ورود بذر به مرحله III جوانه‌زنی جلوگیری کند. این افزایش دما باعث تحریک بیوسنتز

۲) نتایج نمو گیاهچه

نتایج رشد و نمو گیاهچه در جدول ۲ مندرج است، بین تیمارهای دمایی از نقطه نظر صفات متریک اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت. بهترین نتایج طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه در دمای ۲۰ درجه بدست آمد (به ترتیب ۱۹/۵، ۴۰/۵۳ و ۶۰/۰۳ میلی‌متر). با وجود آنکه تفاوت درصد جوانه‌زنی بین دمای ۱۵ و ۲۰ درجه تنها ۲ درصد بود ولی تفاوت طول ریشه‌چه آنها به بیش از ۳۰ درصد رسید (شکل ۲).

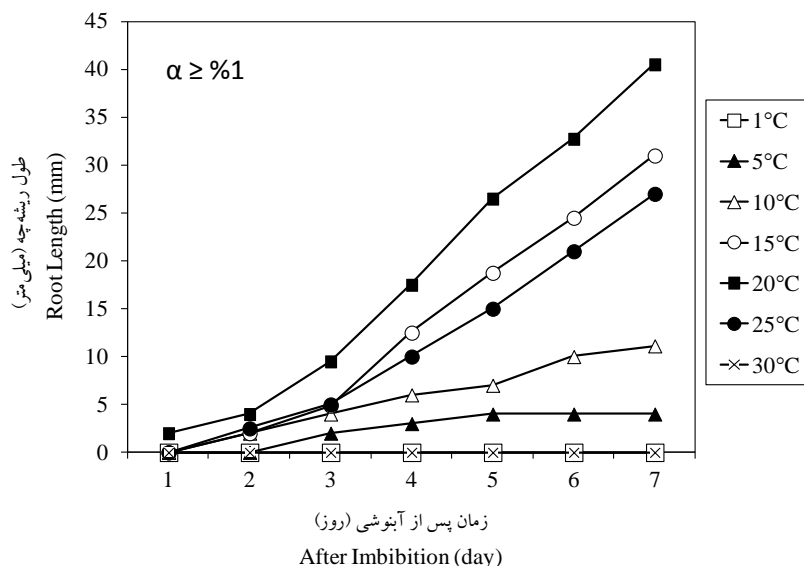
علی‌رغم جوانه‌زنی ۹۶ درصدی در دمای ۱۰ درجه، ساقه‌چه در این تیمار رشد نکرد، همچنین در دمای ۵ درجه نیز رشد ساقه‌چه متوقف شد. نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه (R/S) در دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه به ترتیب ۳/۶۸، ۲/۰۷ و ۵/۴ بود. در سه دامنه دمایی ۵، ۱۰ و ۳۰ درجه به دلیل عدم رشد ساقه‌چه امکان محاسبه R/S وجود

می‌شود (Copeland and McDonald, 2001) ولی میزان آن تنها تکافوی رشد محدود ریشه‌چه را می‌دهد و نیازهای بعدی ریشه‌چه در سایر اندام‌ها مانند راس ساقه‌چه و حاشیه برگ‌ها تولید و سپس از طریق انتشار قطبی به سمت ریشه حرکت می‌کند (Lahouti *et al*, 2003). بنابراین ادامه رشد ریشه بستگی به نمو ساقه و برگ‌های اولیه دارد. نتایج تحقیق حاضر حاکی از افزایش ۱۴۰ درصد رشد ریشه‌چه در دمای ۲۵ درجه (که ساقه‌چه در آن رشد کرده بود) نسبت به دمای ۱۰ درجه (بدون رشد ساقه‌چه) می‌باشد در حالی که جوانه‌زنی در ۱۰ درجه بیش از ۲/۴ برابر دمای ۲۵ درجه بود.

Gray (1997) در تحقیق خود نشان دادند درجه حرارت پایین سطح اکسین آزاد (IAA) را بطور چشمگیری کاهش داده و مانع مهمی در القاء ژنی اکسین می‌گردد. این محققان ابراز داشتند با کاهش ۵ درجه‌ای دما، اکسین تولید شده تکافوی ادامه رشد ریشه‌چه آراییدوپسیس را نمی‌دهد.

ABA و بازدارندگی یبوستن GA می‌شود (Nonogaki *et al*, 2010). نتایج تحقیقات برخی محققین نشان داد در ابتدای تنش شوری یا کم آبی ضریب آلومتری افزایش و سپس کاهش می‌یابد (Hakim *et al*, 2010; Omidbaigi and Sourestani, 2010). در مورد سرما نتایج همسویی وجود دارد. رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم با کم شدن درجه حرارت کاهش یافت (Razmi *et al*, 2013). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه برخی ارقام برنج تحت درجه حرارت کم کاهش معنی‌داری پیدا کرد، بر اساس این تحقیق سرما باعث پرشدن سلول‌های آترنشیوم^۱ شد که در نتیجه آن تبادل گازی و اکسیژن مختل گردید (Ghorbani *et al*, 2011).

از عوامل تاثیرگذار جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه علاوه بر عوامل محیطی به هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشدی نیز وابسته است. هورمون اکسین^۲ در ریشه‌زایی نقش بسزایی دارد (Zhao and Hasenstein, 2009). اکسین به فرم ایندول استیک اسید (IAA) در جنین سنتر



شکل ۲- رشد روزانه ریشه‌چه بالنگو شیرازی در دماهای مختلف

Figure 2- The growth balangu radicle at different temperatures

1. Aerenchyma
2. Auxin

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس و مجموع مربعات (SS) اثر دماهای مختلف بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بالنگو شیرازی

Table 1- Results of analysis of variance (SS) for effect of temperature on balangu seed germination and seedling growth

منابع تغییرات S.O.V	df	درصد جوانه‌زنی GP†	سرعت جوانه‌زنی R ₅₀	ارزش جوانه‌زنی GV	زمان ظهور ساقه STE	طول ساقه Shoot L.	طول ریشه Root L.	طول گیاهچه Seedling L.	وزن خشک گیاهچه Seedling W.
Treatment	6	36911.977*	0.004**	98.689**	57915.428*	1285.313**	6646.783**	13193.969*	0.164*
Error	21	214.568	0.00	1.760	240.00	6.326	251.073	263.171	0.093
Total	27	37126.545	0.004	100.449	58155.429	1291.639	6897.856	13457.139	0.258
ضریب تغییرات (% CV)		0.09	0.73	1.36	3.77	1.46	0.09	0.1	2

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال حداکثر ممکن و سطح یک درصد.

†- GP: Germination Percentage, R₅₀: Germination Rate, GV: Germination Value, STE: Shoot Time Emergence, Shoot (Root) L.: Shoot (Root) Length, seedling W: Seedling Weight

** and *: High Significant and 1% Probability Levels Respectively

جدول ۲- نتایج صفات جوانه‌زنی بذر و نمو گیاهچه بالنگو شیرازی در دماهای مختلف

Table 2- Mean Comparison of balangu seed germination characteristics and seedling growth

صفت Index	Temperature (°C)							LSD _{0.05}
	1	5	10	15	20	25	30	
درصد جوانه‌زنی GP (%)	0.00d	5.5c	96.00a	96.5a	98.5a	40b	0.00d	4.07
سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت) R ₅₀ (1/h)	0.00e	0.0133d	0.0166c	0.0248b	0.0322a	0.0250b	0.00e	0.04
وزن خشک گیاهچه (گرم) Seedling Dry Weight (gr)	0.00f	0.02e	0.057c	0.162b	0.255a	0.045d	0.00f	0.09
طول ریشه (میلی متر) Root Length (mm)	0.00d	2.65d	11.12c	31b	40.53a	27b	0.00d	5.07
طول ساقه (میلی متر) Shoot Length (mm)	0.00d	0.00d	0.00d	8.42b	19.5a	5c	0.00d	0.79
طول گیاهچه (میلی متر) Seedling Length (mm)	0.00e	2.65e	11.12d	39.42b	60.03a	32c	0.00e	5.2
زمان تا ظهور ساقه (ساعت) Shoot Time Emergence (h)	168a	168a	136b	100c	58a	64a	168a	4.97

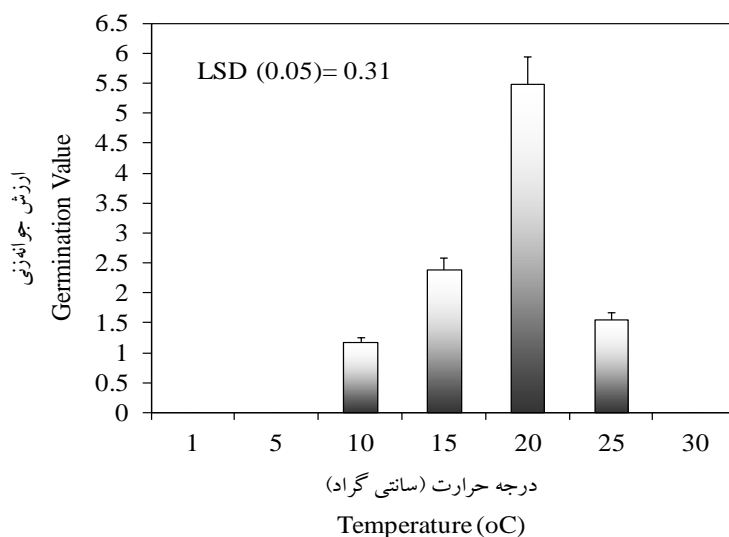
در هرسطر بین تیمارهایی که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون PLSD در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری وجود ندارد.

In each row means followed by similar letters are not significantly different (p>0.01) using PLSD test.

۱، ۵ و ۳۰ درجه، ارزش جوانه‌زنی صفر بود. اختلاف عددی درصد جوانه‌زنی بین دمای ۱۰ و ۱۵ درجه تنها ۰/۵ درصد بود حال آنکه فاصله ارزش جوانه‌زنی آن بالغ بر ۵۰ درصد گردید. ارزش جوانه‌زنی صفر در دمای ۵ درجه علی‌رغم ۵/۵ درصد جوانه‌زنی بر

نتایج ارزش جوانه‌زنی بالنگو شیرازی در شکل ۳ مندرج است، بر این اساس بین تیمارهای دمایی اختلاف معنی داری در سطح یک وجود داشت. بهترین نتایج در تیمار ۲۰ درجه (۵/۵۴) و کمترین مقدار در دمای ۲۵ درجه (۰/۶۲۵) بدست آمد، همچنین در سه تیمار دمایی

ناکارآمدی این دما برای کشت بالنگو شیرازی دلالت دارد.



شکل ۳- ارزش جوانه‌زنی بالنگو شیرازی در دماهای مختلف

Figure 3- Germination values of Balangu seed at different temperatures

بیشینه بالنگو شیرازی به ترتیب ۱، ۲۲/۶ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (جدول ۴). دمای کمینه و بیشینه توابع نزدیک به هم بود، ولی دمای بهینه در ۲۰/۶، در دوتکه‌ای ۲۲/۶۲ و در تابع درجه دوم ۱۹ درجه بود، در دندان‌مانند کمترین دمای بهینه ۱۶/۹ و بیشترین دمای بهینه ۲۵/۵۲ حاصل شد.

Tabrizi و همکاران (2008) مدل بتا و خطوط متقاطع را برای ارزیابی دمای کاردینال توده زراعی و وحشی گیاه دارویی آویشن خراسانی توصیه کردند. Ghaderi-Far و همکاران (2009) با مطالعه و برازش توابع مختلف برای تعیین دمای کاردینال و روززیستی جهت جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذرها در کدو تخم کاغذی مدل بتا و در گاوزبان و سیاه دانه مدل بتا و دندان‌مانند را به عنوان مدل برتر معرفی کردند. Soltani و همکاران (2006) با مطالعه طیف وسیعی از درجات دمایی و ارزیابی زمانی آن برای کشت نخود، مدلی را طراحی کردند که تاریخ سبز شدن و رشد گیاهچه را جهت کشت‌های بهاره، زمستانه و کشت خفته^۱

۴) نتایج کمی‌سازی و تعیین دمای کاردینال

نتایج توابع در جدول ۳ و دمای کاردینال در جدول ۴ و همچنین برازش توابع فوق در شکل ۴ نشان داده شده است. توابع یک به یک، معادلات خطی مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل (به عنوان متغیر وابسته) در مقابل مقادیر مشاهده شده (به عنوان متغیر مستقل) را بیان می‌کند. نتایج نشان داد مجذور میانگین مربع انحراف (RMSE) بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۵ بود، بالاترین ضریب همبستگی در تابع دندان‌مانند و دوتکه‌ای وجود داشت ($r=0/97$) ولی بیشترین ضریب تبیین در تابع دوتکه‌ای ثبت شد ($R^2=0/95$).

پیش‌بینی بر پایه توابع دندان‌مانند، بتا و چندجمله‌ای درجه دوم دارای انحراف معنی‌داری بود که توسط ضرایب a و b مشخص شد، لذا این سه مدل برای تعیین دمای کاردینال بالنگو شیرازی مناسب نیست. ضرایب a و b مبین انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار اُریب از خط ۱:۱ است. بر اساس این نتایج مدل دوتکه‌ای (شکل ۴-A) توصیف مناسبی از جوانه‌زنی بالنگو شیرازی نسبت به دما را ارائه کرد. بر این اساس دمای کمینه، بهینه و

در دامنه ۴ تا ۱۴۰ روز پیش بینی می کند. *(Plantago ovata)* ۲۱/۸، رازیانه *(Foeniculum vulgare)*
 ۲۲ و پسلیوم *(Plantago psyllium)* ۲۵/۶ درجه سانتی گراد
 گزارش شده است (Boroumand Rezazadeh and)
 دارویی از جمله شبت *(Anethum graveolens)* ۱۳، اسفرزه
 (Koocheki, 2006; Tabrizi, 2003)

جدول ۳- جذر میانگین مربع انحراف (RMSE)، ضریب همبستگی (r) ضریب تبیین (R²) و ضرایب رگرسیون (a و b)

مربوط به زمان جوانه زنی مشاهده شده و پیش بینی شده توسط چهار مدل توصیف کننده رابطه سرعت جوانه زنی و دما

Table 3- Root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R²), correlation coefficient (r) and regression coefficients (a and b) for the relationship between observed and predicted to seed germination by four models describing the relationship between germination rate and temperature.

توابع Function	جذر میانگین مربع انحراف RMSE	ضریب تبیین R ²	ضریب همبستگی r	ضرایب رگرسیون a±SE	ضرایب رگرسیون b±SE
Beta مدل بتا	0.35	0.92	0.97	-6.524*±0.941	1.515±0.157
Dent-like مدل دندان مانند	0.34	0.91	0.95	-4.758*±2.22	0.95*±0.0068
Segmented مدل دو تکه ای	0.12	0.95	0.97	1/98±0.109	1.14±0.14
Quadratic مدل درجه دوم	0.26	0.84	0.91	0.42*±0.109	0.001±0.14

* در a نشان دهنده اختلاف معنی دار با صفر و در b تبیین اختلاف آماری با یک می باشد

* Significant difference from 0 for a and significant difference from 1 for b.

جدول ۴- تعیین دمای کمینه، بیشینه و بهینه بر حسب سانتی گراد و حداقل روز زیستی مورد نیاز (بر حسب ساعت)

توسط چهار تابع دندان مانند، بتا، دو تکه ای و درجه دوم

Table 4: Estimate of base temperature (T_b), optimum temperature (T_o), ceiling temperature (T_c) and physiological day requirement (e_o) for balangu seeds germination by using four function

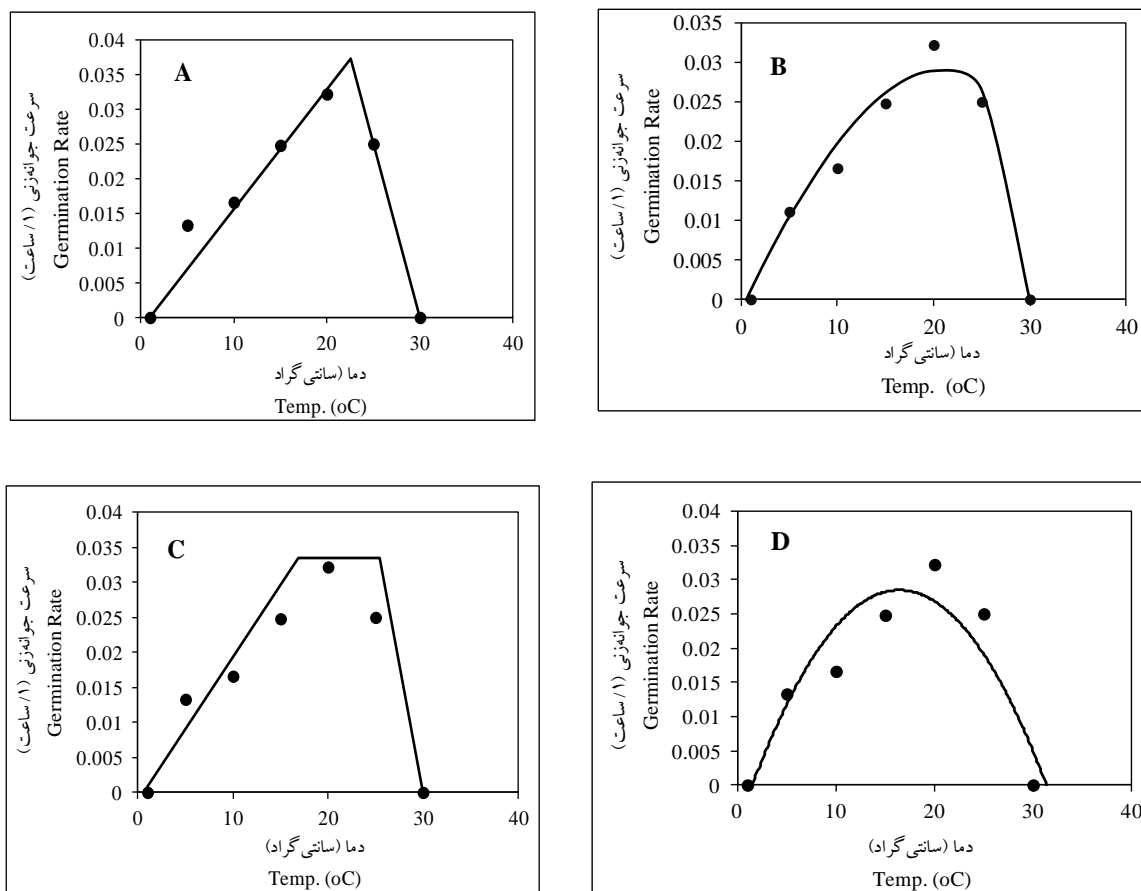
توابع Function	T _b	T _o	T _{o1} *	T _{o2}	T _c	e _o
مدل بتا Beta	5	20.6	--	--	31	30.15±0.14
مدل دندان مانند Dent-like	0.6	--	16.9	25.52	30	31.8±0.52
مدل دو تکه ای Segmented	1	22.6	--	--	30	28.69±0.71
مدل درجه دوم Quadratic	0.6	19	--	--	31.5	30.29±0.81

T_b: دمای کمینه، T_o: دمای بهینه، T_{o1}: کمترین دمای بهینه، T_{o2}: بیشترین دمای بهینه، T_c: دمای بیشینه، e_o: حداقل روز زیستی بر حسب ساعت.

* T_{o1} و T_{o2} دو پارامتری هستند که در تابع دندان مانند برآزش می شود.

Base temperature (T_b), optimum temperature (T_o), lower optimum temperature (T_{o1}), upper optimum temperature (T_{o2}) and physiological day requirement (e_o)

*- T_{o1} and T_{o2} only dent-like function



شکل ۴- رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما با استفاده از تابع دوتکه‌ای (A)، بتا (B)، دندان مانند (C) و درجه دوم (D).

با توجه به نتایج فوق بهترین توصیف جوانه‌زنی توسط مدل دوتکه‌ای ارائه شد.

Figure 4- The relationship between seed germination rate and temperature using segmented (A), beta (B), Dent-Like (C) and Quadratic (D) function. According to the results, the best seed germination was provided by the segmented function

شده بود لذا مشخص است در چنین آزمایشاتی باید پارامترهای جوانه‌زنی و صفات رشدی گیاهچه نرمال به صورت همزمان بررسی شود تا نتایج قابل استناد باشد. تابع دوتکه‌ای نتایج قابل قبولی برای جوانه‌زنی بالنگو شیرازی ارائه کرد. این مدل قابلیت بررسی سایر شاخص‌های رشدی این گیاه بخصوص در شرایط مزرعه مانند بهترین زمان کاشت و یا عمق کشت بذرها را دارد. اینک مشخص شد بذر بالنگو شیرازی از سرعت جوانه‌زنی بالایی برخوردار است و چنانچه شرایط محیطی بهینه محیا شود بیش از ۵۰ درصد بذور در کمتر از ۲۸ ساعت جوانه

نتایج نهایی

حداکثر جوانه‌زنی بذر بالنگو شیرازی در دامنه دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد از این رو می‌توان گیاه دارویی بالنگو شیرازی را یک گیاه سرد زیست دانست که احتمالاً در مناطق گرمسیری جوانه‌زنی آن با مشکل مواجه خواهد شد. صفات جوانه‌زنی بالنگو شیرازی در دامنه دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه اختلافی آماری نداشت در حالی که در دمای ۱۰ درجه رشد گیاهچه تقریباً متوقف

زده و ۵۸ ساعت بعد (۲/۴ روز) برگ‌های اولیه ظاهر خواهند شد. چنین پتانسیل بالایی در جوانه‌زنی و استقرار سریع گیاهچه در گیاهان دارویی و وحشی گزارش نشده است، لذا کنکاش در خصوصیات ژنتیکی بذر بالنگو شیرازی قابل توصیه است.

References

منابع

- Abdolahi, M., and S.M. Farahani. 2015.** Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. *Iranian J. Med. Aroma. Plants.*31(4): 676-687
- Alvarado, V., and K.J. Bradford, 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25: 1061-1069.
- Bannayan, M., F. Nadjafi., M. Rastgoo, and L. Tabrizi. 2006.** Germination properties of some wild medicinal plants from Iran. *J. Seed Technol.* 28(1): 80-86.
- Bewley, J.D., and M. Black. 1994.** *Physiology and Biology of Seed in Relation to Germination* (2nd ed.) edition. Springer verlag, Berlin.
- Bonyanpour, A.R., and M. Khosh-Khui. 2001.** Factors influencing seed germination and seedling growth in Black Zira (*Bunium persicum*). *J. Herbs, Spices and Med Plants.* 8(1): 79-85.
- Boroumand Rezazadeh, Z., and A. Koocheki. 2006.** Evaluation of cardinal temperature for three species of medicinal plants, Ajowan (*Trachyspermum ammi*), Fennel (*Foeniculum vulgare*) and Dill (*Anethum graveolens*). *Desert J.* 11(2): 11-16.
- Copeland, L.O., and M. McDonald. 2001.** *Principles of Seed Science and Technology.* Massachusetts, Kluwer Academic Publishers.
- Daneshmandi, M.S. 2013.** Identification of biophysical, biochemical and biological characteristics in Balangu seeds (*Lallemantia royleana*) and study of seed germination and seed vigour structures under environmental difficult conditions. M.Sc. Thesis. Mashhad Univ. Khorasan Province, Mashhad, Iran (In Persian, with English Abstract)
- Daneshmandi, M.S., R. Sadrabadi, and R. Tavakkol Afshari. 2011.** Comparison of mucilage characteristics in seeds of some medicinal plants. p. 1867-1872. In Proc. Iranian Congr. Seed Sci. Technol, 2nd. Mashhad, Iran. (In Persian, with English Abstract)
- Daneshmandi, M.S., R. Tavakkol Afshari, and R. Sadrabadi Haghghi. 2017.** Identification of chemical and biochemical characteristics of Balangu seeds (*Lallemantia royleana* (Benth.) Benth.in Wall) under accelerated aging conditions. *Iranian J. Seed Sci. Technol.* 6(1):23-37. (In Persian, with English Abstract).
- Ellis, R.H., and E.H. Roberts, 1981.** The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. Technol.* 9: 377-409.
- Ghaderi-Far, F., A. Soltani, and H.R. Sadeghipour. 2009.** Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *Pepo*. *Convar.* *Pepo* var. *styriaca* Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. *J. Plant Prod.* 16(4): 1-19. (In Persian, with English Abstract)
- Ghorbani, A., F. Zarinkamar, and A. Fallah. 2011.** Effect of cold stress on the anatomy and morphology of the tolerant and sensitive cultivars of rice during germination. *J. Cell Tissue (JCT).* 2(3): 235-244. (In Persian, with English Abstract)
- Gray, W.M., A. Ostin., G. Sandberg., C.P Romano and M. Estelle. 1997.** High temperature promotes auxin-mediated hypocotyl elongation in Arabidopsis. *PNAS J. (National academy of sciences of the USA).* 95(12): 7197- 7202.
- Hakim, M.A., A.S. Juraimi., M. Begum., M.M. Hanafi., M.R. Ismail and A. Selamat. 2010.** Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *African J. Biotechnol.* 9(13): 1911-1918.

- Hampton, J.G., and D.M. Tekroy. 1995.** Handbook of Vigour Test Methodes. The International seed testing association, Zurich.
- Hedge, I.C. 1970.** Observation on the mucilage of *Salvia* Fruits. Royal Botani Gardens. Edinburgh. 30(1): 79-95.
- Jones, G., and S.M. Valamoti. 2005.** Lallelantia, an imported or introduced oil plant in bronze age northern Greece. Vegetation History and Archaeobot. 14(4): 571-577.
- Koocheki, A., M. Nassiri Mahallati and F. Najafi. 2004.** The agrobiodiversity of medicinal and aromatic plants in Iran. Iranian J. Field Crops Res. 2(2): 208-215. (In Persian, with English Abstract)
- Koohdar, F., M. Sheidai., S.M. Talebi., Z. Noormohammadi and S. Ghasemzadeh-Baraki. 2016.** Genetic diversity, population structure and morphological variability in the *Lallemantia royleana* (Lamiaceae) from Iran. Phytologia Balcanica, 22(1): 29–38
- Lahouti, M., M. Zare Hasan Abadi., and R. Ahmadian. 2003.** Biochemistry and Physiology of Plant Hormones. Ferdowsi University Press. Iran. P. 359 (Translated in Persian)
- Mosjidis, J.A., and X. Zhang, 1995.** Seed germination and root growth of several *Vicia* species at different temperatures. Seed Sci. Technol. 23: 749-759.
- Nonogaki, H., G.W. Bassel and J.D. Bewley, 2010.** Germination- still a mystery. Plant Sci. 179: 574-581.
- Omid Baigi, R. and M. Mahmoudi Sourestani. 2010.** Effect of water stress on morphological traits, essential oil content and yield of Anise Hyssop (*Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze). Iranian J. Hortic. Sci. 41(2): 208-215. (In Persian, with English Abstract).
- Piper, E.L., K.J. Boote., J.W. Jones and S.S. Grimm, 1996.** Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Sci. 36, 1606–1614.
- Pirjalili, F., and Omid, H. 2017.** Effects of drought stress on grain yield and qualitative characteristics of three populations of *Lallemantia royleana* Benth. Iranian J. Med. Aroma. Plants. 33(1): 25-38. (In Persian, with English Abstract).
- Razmi, Z. R. Hamidi., and M.H. Pirasteh-Anosheh. 2013.** Seed germination and seedling growth of three sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes as affected by low temperatures. Int. J. Farm Allied Sci. 2(20): 851-856.
- Rechinger, K.H. 1982.** *Lallemantia* (Labiatae) in Rechinger Flora Iranica No. 150: Akademische. Drurck University Verlagsantalt, Graz, Austria.
- Ritchie, J.T., and D.S., NeSmith, 1991.** Temperature and crop development. In: Hanks, R.J., Ritchie, J.T. (Eds.) Modeling Plant and Soil Systems. Agron. Monogr. 31: 5-29.
- Rivera-Núñez, D., and C. Obón De Castro. 1992.** Palaeoethnobotany and archaeobotany of the labiatae in europe and the near east. In Harley, R.M. and Reynolds, T. (eds), Advances Lab Sci. (Kew): 437- 457.
- Ryding, O, 2001.** Myxocarpy in the Nepetoideae (Lamiaceae) with notes on mxyodiaspory in general. Syst. Geogr. Plants. 71: 502-514.
- Soltani, A. 2006.** Re-consideration Application of Statistical Methods in Agricultural Researched. Jahad-daneshgahi of Mashhad Perss. (In Persian)
- Soltani, A., and V. Maddah. 2010.** Simple Applied Programs for Education and Research Agronomy. Iranian Scienti. Soci. Agroecology Press. (In Persian)
- Soltani, A., M.J. Robertson., B. Torabi., M. Yousefi-Daz., and R. Sarparast, 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agric. Meteorol. 138:156-167.
- Tabrizi, L. 2003.** Effect of water stress and organic fertilizer on quantitative and qualitative criteria of two species of medicinal plants: *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. M.Sc. Thesis. Ferdowsi Univ. Khorasan Province, Mashhad. Iran. (In Persian, with English Abstract)
- Tabrizi, L., A. Koocheki., M. Nassiri Mahallati, and P. Rezvani Moghaddam. 2008.** Germination Behaviour of Cultivated and Natural Stands Seeds from of Khorasan Thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) with Application of Regression Models. Iranian J. Field Crops Res. 5(2): 249-257. (In Persian, with English Abstract)

Yin, X., M.J. Kropff., G. McLaren, and R.M. Visperas, 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agric. For. Meteorol.* 77: 1–16.

Zhao, Y., and K.H. Hasenstein, 2009. Physiological interactions of antiauxins with auxin in roots. *J. Plant Physiol.* 167(11): 879-884