

تأثیر پیش تیمار با اسید جیبرلیک بر دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گیاه گل گاوزبان (*Borage officinalis* L)

حدیث حسنونند^۱، قاسم پرمون^۲، سید امیر موسوی^{۳*}، سید عطاءله سیادت^۴

۱. دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲. دانشجوی سابق دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵)

چکیده

در آزمایشی که در سال ۱۳۹۷، در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام گرفت، به بررسی اثر پیش تیمار بر تغییرات دماهای کاردینال و نیاز زمان-گرما می بذر گل گاوزبان اروپایی پرداخته شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و عوامل آزمایشی شامل پیش تیمار بذر با اسید جیبرلیک در غلظت‌های صفر (آب مقطر به عنوان شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر، مدت زمان پیش تیمار (۶ و ۱۲ ساعت) و دما در ۷ سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) در سه تکرار انجام شد. مدل‌های بتا، بتای اصلاح شده، دندانه‌ای و دو تکه‌ای به منظور تعیین دماهای کاردینال استفاده شد. نتایج نشان داد که در مدت زمان‌های ۶ و ۱۲ ساعت پیش تیمار، با افزایش دما و غلظت هورمون اسید جیبرلیک میزان جوانه‌زنی افزایش یافت، به طوری که بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده گردید. افزایش غلظت اسید جیبرلیک موجب شد مقدار زمان گرمایی بیشتری برای دستیابی به ۵۰ درصد جوانه‌زنی کل نیاز باشد. همچنین مشخص شد، مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها دارای دقت بیشتری در تخمین جوانه‌زنی بذرهای گل گاوزبان است. بر این اساس، دمای پایه، مطلوب و سقف با توجه به مدل بتا برای گل گاوزبان به ترتیب ۰/۵۱، ۲۱/۵ و ۳۵/۱ درجه سلسیوس بوده که در اثر کاربرد ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید جیبرلیک به ۰/۳۳، ۲۳/۵ و ۳۵/۸ درجه سلسیوس تغییر یافت.

کلمات کلیدی: بذر، زمان گرمایی، دمای کاردینال، جوانه‌زنی، گیاهان دارویی

Effects of seed priming with gibberellic acid on cardinal temperatures of *Borage* (*Borage officinalis* L.) seed germination

H. Hasanvand¹, Gh. Parmoon², S.A. Moosavi^{3*}, S.A. Siadat⁴

1. Former PhD. Student of agronomy Department of Plant production and genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
2. Former PhD. Student of agronomy, Department of agronomy and plant breeding, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
3. Assistant professor of Department of Plant production and genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
4. Professor of Department of Plant production and genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

(Received: May. 31, 2020 – Accepted: Sept. 15, 2020)

Abstract

This experiment was conducted at seed technology laboratory of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, in 2018 with the to evaluate the effects of seed priming on cardinal temperatures and thermal time requirements of borage seed germination. The factorial experiment was arranged based on the randomized complete block design with three replications. Treatments were gibberellic acid (0 (distilled water as control), 100, 200, 400 mg/L⁻¹), priming durations (6 and 12 hour) and seven levels of germination temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 °C). Beta model, beta modified, dent-like and segmented were used to determine cardinal temperatures. Results showed that seed germination significantly increased at both priming durations of 6 and 12 hours with increasing of temperature and gibberellic acid concentrations. The highest seed germination was observed at 200 mg/L⁻¹ gibberellic acid and 15 °C. Increase of gibberellic acid concentrations resulted higher thermal time requirements to complete 50% of germination in seed population. From the results, the beta model provided the best fit to evaluate cardinal temperatures of borage seeds. It is therefore, suggested that the base, optimum and ceiling temperatures of borage seeds are 0.51, 21.5 and 35.1 °C and influenced by application 200 mg/L⁻¹ GA to 0.33, 23.5 and 35.8 °C.

Keywords: Cardinal Temperature, Germination, Seed, Thermal time, Medicinal Plants.

* Email: amirmoosavi@asrukh.ac.ir

مقدمه

جوانه‌زنی بذر از جمله مهم‌ترین رویدادها برای موفقیت بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود و از بحرانی‌ترین مراحل در استقرار گیاهچه‌هاست. این مرحله از رویش تابع عوامل مختلفی از جمله شرایط فیزیولوژیک گیاه، درجه دما و غیره است (Azimi *et al.*, 2013). موفقیت در تولید گیاهان زراعی به یکنواختی و استقرار سریع بذر بستگی دارد و این موضوع ارتباط نزدیکی با درصد و سرعت جوانه‌زنی نشان می‌دهد (Flores and Briones, 2001). دما تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل و سرعت جوانه‌زنی دارد و به همین دلیل، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده موفقیت در استقرار گیاهچه است (Kader and Jutzi, 2004). جوانه‌زنی فرآیندی کاملاً وابسته به دما است به طوری که بیشترین سرعت و میزان جوانه‌زنی در دمای بهینه انجام می‌شود و در فراتر از دمای بیشینه، جوانه‌زنی به‌طور کامل متوقف خواهد شد (Alvarado and Bradford, 2002).

مدل‌های ریاضی متعددی برای توصیف الگوی جوانه‌زنی در واکنش به دما ارائه شده است. برخی از این مدل‌ها برای پیش‌بینی دماهای کاردینال از واکنش جوانه‌زنی تجمعی به سطوح مختلف دما (Hardgree and Winstral, 2006) و تعدادی دیگر از رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی برای تخمین دماهای کاردینال استفاده می‌کنند (Ramin, 1997). مدل پنج پارامتری بتا (Tabrizi *et al.*, 2008)، مدل‌های دوتکه‌ای و دندان مانند (Soltani *et al.*, 2008) از جمله مدل‌های معروف مورد استفاده در تعیین دماهای کاردینال بر اساس پاسخ سرعت جوانه‌زنی به دما به شمار می‌آیند. در واقع گیاهان دمای محیط را هر روز دریافت می‌کنند و میانگین دمای دریافت شده در هر روز روی هم ذخیره شده و نیاز دمایی تجمعی گیاه را برای انتقال از مرحله نموی به مرحله بعد تأمین می‌نماید که به آن زمان گرمایی گفته می‌شود. برای

بذرها، ضریب زمان-گرمایی (θT) به معنی نیاز دمایی لازم برای طی کردن مراحل جوانه‌زنی و تکمیل آن می‌باشد (Lonati *et al.*, 2009).

پژوهشگران با استفاده از مدل پارامتری بتا، گزارش کردند، دمای مناسب برای جوانه‌زنی بذر گل‌گاوزبان ایرانی ۲۲ و ۲۳ درجه سلسیوس و حداکثر دما برای جوانه‌زنی بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس است. البته در دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سلسیوس عمل جوانه‌زنی در بذرها متوقف می‌شود (Lashkari *et al.*, 2014). نتایج برازش هشت مدل رگرسیونی غیرخطی بر داده‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) به‌منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی مشخص گردید که مدل دوتکه‌ای برازش بهتری در مقایسه با سایر مدل‌ها ارائه نمود (Dorri *et al.*, 2014).

یکی از روش‌های بهبود دهنده کارایی بذر، پیش تیمار (پرایمینگ) بذر است. پیش تیمار بنا به تعریف، به تیمار بذر قبل از کاشت اطلاق می‌شود که طی آن، بذر مراحل اولیه جوانه‌زنی را طی کرده ولی به دلیل محدود نمودن میزان آب جذب شده، خروج ریشه‌چه انجام نمی‌شود (Eisvand *et al.*, 2013; Paparella *et al.*, 2015). تحقیقات نشان داده است که تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید جیبرلیک، سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیکی که در لایه آلورون قرار داشته را افزایش می‌دهند، سپس آنزیم‌های سنتز شده به آندوسپرم انتقال می‌یابند و در نتیجه منجر به تجزیه ذخیره‌ای غذایی و تأمین انرژی لازم جهت جوانه‌زنی و رشد می‌شوند (Liopa-Tsakalidi *et al.*, 2013). طی این پیش تیمار انتقال مواد ذخیره‌ای، فعال‌سازی سنتز چندین آنزیم، سنتز RNA و DNA، تولید ATP و بهبود غشای سیتوپلاسمی در بذرها آغاز می‌شود (Ashraf *et al.*, 2005; Bailly *et al.*, 2000). با توجه به اثرات فیزیولوژیک پیش تیمار بر جوانه‌زنی بذر، اما گزارش‌ها اندکی در خصوص اثر پیش تیمار بر تغییر دماهای کاردینال جوانه‌زنی در دسترس است (Rowse *et al.*, 2003).

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اسید جیبرلیک در کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر گل‌گاوزبان اروپایی (*Borage officinalis L*) به دماهای مختلف به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل پیش‌تیمار با اسید جیبرلیک در غلظت‌های صفر (آب مقطر به‌عنوان شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مدت زمان پیش‌تیمار (۶ و ۱۲ ساعت) و دما در ۷ سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) بود. به‌منظور لحاظ نمودن تأثیر آب در تمامی تیمارهای پرایمینگ، بذرهای غلظت صفر اسید جیبرلیک (آب مقطر) به مدت ۶ و ۱۲ ساعت مانند تیمارهای حاوی اسید جیبرلیک قرار گرفته و این تیمارها به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند.

بذور گاوزبان مورد مطالعه از شرکت پاکان بذر اصفهان (سال تولید ۱۳۹۷ و دارای وزن هزار دانه ۱۹ گرم و درصد جوانه‌زنی ۲۰ درصد) خریداری شده و برای انجام آزمون جوانه‌زنی، بذرهای پس از اتمام دوره‌های پیش‌تیمار مورد نظر، بذور پرایم شده توسط هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و سپس ۳ بار با آب مقطر شستشو گردیدند (Parmoon et al., 2016). سپس تعداد ۲۵ عدد بذر به داخل پتری‌دیش (حاوی کاغذ صافی واتمن شماره یک به‌عنوان بستر جوانه‌زنی) انتقال یافته و به هر پتری‌دیش به میزان ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و در ژرمیناتور با شرایط نور تاریکی (۸ ساعت روشنایی و ۱۶ ساعت تاریکی) و رطوبت ۴۵ درصد ساخت شرکت تجهیزات پزشکی بهروز، با دمای تعیین شده منتقل شدند (ISTA, 2013). شمارش جوانه‌زنی به‌صورت روزانه انجام شد که معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر بود. شمارش بذرهای جوانه‌زده تا ۸ روز که تعداد بذرهای جوانه‌زنده ثابت شده بود و افزایش نداشت ادامه پیدا کرد.

تحقیقات اخیر نشان داده که موفقیت پیش‌تیمار بذر تحت تأثیر اثر متقابل عواملی مانند نوع و گونه گیاهی، مدت زمان پیش‌تیمار و دما (Farooq et al., 2006) می‌باشد. در بررسی اثر پیش‌تیمار بذر با اسید جیبرلیک بر جوانه‌زنی بذر زیره سبز گزارش شد که پیش‌تیمار بذر زیره سبز با ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید جیبرلیک به مدت ۲۴ ساعت بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد (Jabbari et al., 2011). تعیین زمان مناسب پیش‌تیمار در موفقیت آن اهمیت به‌سزایی دارد و با اعمال مدت زمان نامناسب، پیش‌تیمار نه تنها مفید نخواهد شد بلکه اثر منفی بر درصد جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. در بررسی تأثیر پیش‌تیمار بر برخی صفات جوانه‌زنی و رشدی گل‌گاوزبان گزارش شد که اثر دما و اثر متقابل دما و مدت زمان پیش‌تیمار بر صفات جوانه‌زنی معنی‌دار بود. بالاترین خصوصیات مربوط به جوانه‌زنی، پیش‌تیمار بذور متعلق به تیمار ۲۱ درجه سلسیوس و مدت زمان ۶ ساعت بود و تیمار برتر برای تمام خصوصیات رشدی مورد آزمایش نیز پیش‌تیمار بذور در دمای ۲۱ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۸ ساعت ارزیابی شد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در استفاده از پیش‌تیمار شناخت دما و زمان مورد استفاده، در نتایج آزمایش تأثیر به‌سزایی دارد (Ebrahim et al., 2014).

کشت گیاهان دارویی و معطر از جمله گل‌گاوزبان اروپایی، از دیر باز از جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های سنتی کشاورزی برخوردار بوده است و این نظام‌ها از نظر ایجاد تنوع و پایداری، نقش مهمی ایفا کرده‌اند. از آنجا که اهلی‌سازی گونه‌های گیاهی طبیعی نیازمند آگاهی از نیازهای رشدی و همچنین جوانه‌زنی بذر می‌باشد، بنابراین هدف از این پژوهش، مشخص کردن دامنه حرارتی مناسب جوانه‌زنی، شناسایی رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی، تعیین دماهای کاردینال و کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی گل‌گاوزبان اروپایی به دماهای مختلف تحت تأثیر تیمار اسید جیبرلیک بود.

$$f(T) = (T - T_b)/(T_o - T_b) \quad \text{رابطه (۴)}$$

if $T_b < T < T_o$

$$f(T) = 1 - \left(\frac{T - T_o}{T_c - T_o}\right) \quad \text{رابطه (۵)}$$

if $T_o \leq T < T_c$

$$f(T) = 0 \quad \text{رابطه (۶)}$$

if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

برای برآزش مدل بتا از رابطه ۷ و برای مدل بتای اصلاح شده از رابطه ۸ استفاده شد (Yin et al., 1995; Yan and Hunt, 1999).

$$f(T) = \left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b}\right) \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o}\right)^c \quad \text{رابطه (۷)}$$

if $T > T_b$ and $T < T_c$
if $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

$$f(T) = \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o}\right) \left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b}\right)^c \quad \text{رابطه (۸)}$$

$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

مدل دندانه‌ای نیز با استفاده از رابطه ۹ و ۱۰ بر روی داده‌های مورد مطالعه برآزش شد (Piper et al., 1996).

$$f(T) = (T - T_b)/(T_{o1} - T_b) \quad \text{رابطه (۹)}$$

if $T_b < T \leq T_{o1}$

$$f(T) = (T_c - T)/(T_c - T_{o2}) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

if $T_{o2} < T < T_c$
 $f(T) = 1$ if $T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$
 $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

برای برآزش این مدل‌ها از نرم‌افزار سیگما پلات ۱۱ و برای تعیین مدل از ضریب تبیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد. همچنین تجزیه واریانس و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت. برای بررسی روند تغییرات درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف نیز از رابطه

در پایان درصد جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی محاسبه شد. درصد جوانه‌زنی طبق رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه GP جوانه‌زنی به درصد می‌باشد، N نیز تعداد بذور جوانه‌زده در آخرین شمارش و K نیز تعداد کل بذور کشت شد در آغاز آزمایش می‌باشد (Scott et al., 1984).

$$FGP = N/k \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد. در این رابطه N جوانه‌زنی نهایی و ni و nj نیز تعداد بذور جوانه‌زده در مدت زمان tj-ti می‌باشد (Coolbear, 1984).

$$D_{50} = t_i + [(N/2 - n_i) (t_j - t_i)] / (n_j - n_i) \quad \text{رابطه (۲)}$$

یکنواختی جوانه‌زنی نیز طبق رابطه (۳) و با استفاده از نرم‌افزار Germin محاسبه شد (Soltani et al., 2002). D_{90} = مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد، D_{10} = مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد (Soltani et al., 2002).

$$GU = D_{90} - D_{10} \quad \text{رابطه (۳)}$$

تعیین دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و حداکثر) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی که از معکوس متوسط زمان جوانه‌زنی محاسبه شد و دماهای مختلف صورت گرفت که روابط آن‌ها در ادامه نشان داده شد. جهت تعیین دمای کاردینال از چهار مدل بتا (Beta)، بتا اصلاح شده (Beta Modified)، دندانه‌ای (Dent-Like) و دو تکه‌ای (Intersected Line) استفاده شد (Parmoon et al, 2015). مدل دو تکه‌ای طبق روابط ۴ تا ۶ زیر محاسبه شد (Mwale et al., 1994).

جیبرلیک و دما و زمان پرایم کردن، تأثیر معنی داری بر درصد جوانه زنی داشت (جدول ۱). در مدت زمان ۶ ساعت و ۱۲ ساعت پیش تیمار، با افزایش دما و غلظت هورمون اسید جیبرلیک میزان درصد جوانه زنی افزایش یافت، به طوری که دمای ۱۵ درجه سلسیوس در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بیشترین درصد جوانه زنی را نشان داد (شکل ۱a).

دمای بالاتر از ۱۵ درجه سلسیوس و غلظت بالاتر از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک، درصد جوانه زنی را کاهش داد. کمترین میزان درصد جوانه زنی در غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک و دمای ۳۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید. دماهای بالای ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس به علت بازدارندگی در فعالیت آنزیم ها و کاهش در میزان واکنش های بیوستتزی مورد نیاز جوانه زنی، باعث کاهش جوانه زنی می شوند (Awan et al., 2017).

رگرسیون غیرخطی زیر استفاده شد. این رابطه با استفاده از نرم افزار سیگماپلات نسخه ۱۴ برازش داده شد. در این رابطه a بالاترین مقدار Y تخمین زده شده، b شیب خط و x_0 نیز مقدار x که به a می رسد. در واقع a و x_0 به ترتیب نشان دهنده بالاترین درصد جوانه زنی و دمای مناسب جوانه زنی جهت حصول بالاترین درصد جوانه زنی می باشد.

$$Y = a \times \exp(-.5 \times ((x-x_0)/b)^2) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

نتایج و بحث

شاخص های جوانه زنی

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به درصد جوانه زنی نشان داد، اثرات اصلی، اثرات دو گانه اسید جیبرلیک و دما، زمان و دما و همچنین اثر سه گانه اسید

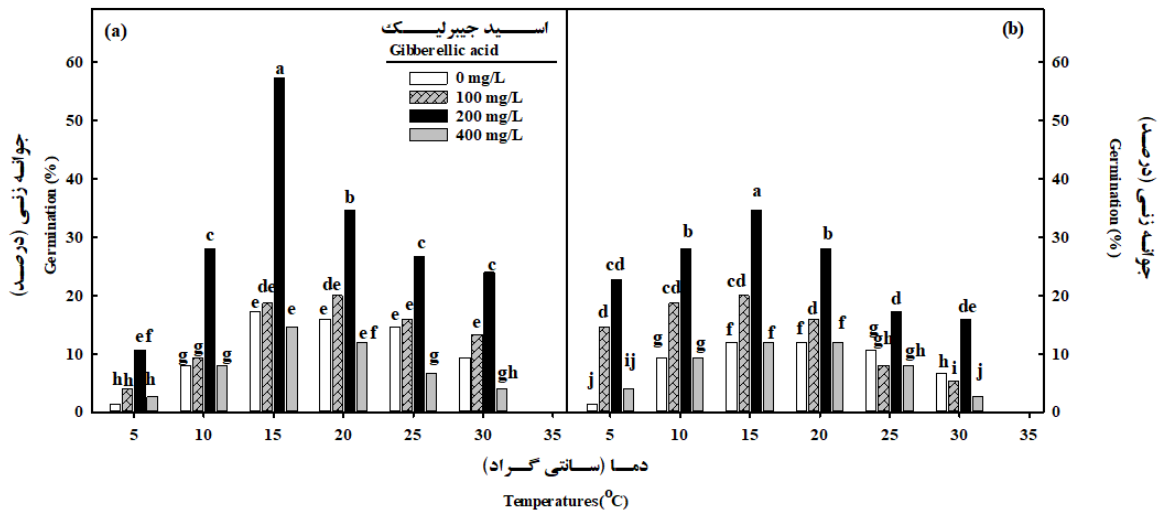
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس کاربرد اسید جیبرلیک برای شاخص های جوانه زنی گل گاوزبان در شرایط دماهای مختلف

Table 1- Results of variance analysis effect application gibberellic acid in germination index borage under temperature condition

منابع Source	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean Square		
		درصد جوانه زنی Germination	یکنواختی جوانه زنی Germination Uniformity	میانگین مدت زمان جوانه زنی Mean Germination Time
اسید جیبرلیک Gibberellic acid(GA)	3	34.73**	53.55**	9.10 ^{ns}
زمان Time (T)	1	0.95*	0.12 ^{ns}	0.13 ^{ns}
دما Temperature(C)	6	39.26**	205.88**	283.66**
اسید جیبرلیک × زمان GA × T	3	0.55 ^{ns}	3.85 ^{ns}	4.75 ^{ns}
اسید جیبرلیک × دما GA × C	18	2.24**	6.76 ^{ns}	18.79**
زمان × دما T × C	6	1.97**	3.76 ^{ns}	10.26 ^{ns}
اسید جیبرلیک × زمان × دما GA × T × C	18	1.04**	5.33 ^{ns}	4.78 ^{ns}
خطا Error	112	0.50	4.19	6.44
ضریب تغییرات (%) Coefficient of Variation (%)	-	22.11	23.18	23.79

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد

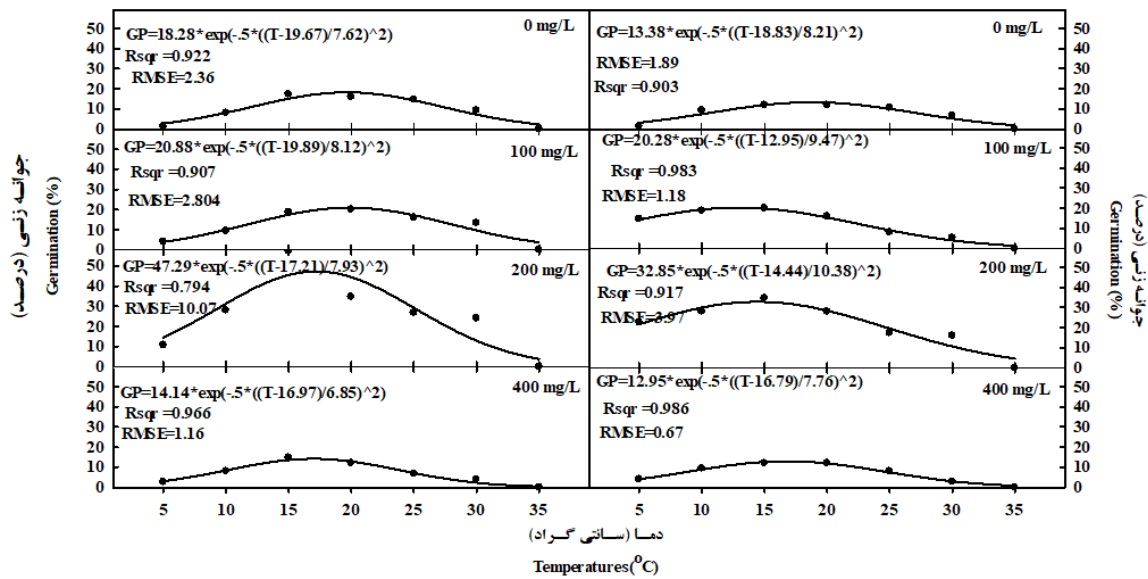
ns, ** and * nonsignificant, significant level on 1 and 5%



شکل ۱- تأثیر پیش تیمار مختلف با هورمون اسید جیبرلیک و زمان بر درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف جوانه‌زنی (a= ۶ ساعت و b= ۱۲ ساعت).
 Figure 1- Effect seed priming by gibberellic acid and time on germination percentage at different germination temperatures (a= 6 hours, b 12 hours respectively)

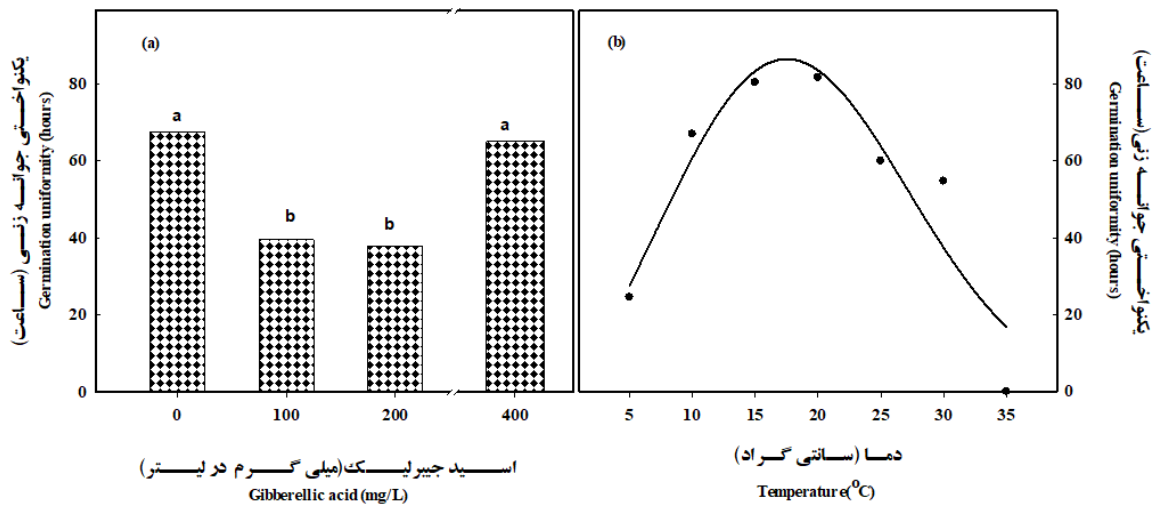
گل‌گاوزبان اروپایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به شکل ۳، با افزایش دما، یکنواختی جوانه‌زنی کمتر شده (افزایش عدد)، به طوری که تیمار دمای ۱۵-۲۰ درجه سلسیوس با میانگین ۸۰ ساعت کمترین یکنواختی جوانه‌زنی را به خود اختصاص داد. به طور کلی مشاهده شد در دمایی که جوانه‌زنی به بیشترین مقدار خود می‌رسید یکنواختی جوانه‌زنی کاهش می‌یابد ولی در محدوده دمایی خارج از بهینه، به علت مقدار جوانه‌زنی پایین، یکنواختی جوانه‌زنی نیز بیشتر است (شکل ۳). مقایسه میانگین مربوط به غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک نیز نشان داد، کمترین یکنواختی جوانه‌زنی از تیمار شاهد به دست آمد که در مقایسه با پیش تیمار اسید جیبرلیک در سطح ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳). در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، بیشترین میزان یکنواختی جوانه‌زنی با میانگین ۴۰ ساعت مشاهده شد که این غلظت‌ها با یکدیگر تفاوت آماری نداشتند، تغییر محسوسی نکرد.

نتایج آزمایش نشان داد که در مدت زمان ۱۲ ساعت پیش تیمار درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به زمان ۶ ساعت پیش تیمار در همین دما و غلظت کمتر بود (شکل ۱b). مدل‌های غیره خطی برازش شده بر درصد جوانه‌زنی نیز مشخص شد در ۶ ساعت پیش تیمار، غلظت پایین اسید جیبرلیک موجب کاهش دمای بهینه جوانه‌زنی (دمایی که بالاترین درصد جوانه‌زنی مشاهده می‌شود) شده ولی با افزایش غلظت به ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر دمای بهینه افزایش پیدا کرد که این روند در مدت زمان ۱۲ ساعت برعکس می‌باشد (شکل ۲). مطابق گزارش پژوهشگران، افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیمی و هضم احتمالاً وابستگی زیادی به فعالیت هورمون اسید جیبرلیک دارد (Rouhi *et al.*, 2012) به طوری که در آزمایش حاضر نیز مشاهده شد کاربرد اسید جیبرلیک جوانه‌زنی را بهبود داد. نتایج تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۱) نشان داد تأثیر دما و اسید جیبرلیک بر یکنواختی جوانه‌زنی بذرهای



شکل ۲- روند تغییرات درصد جوانه زنی تحت تأثیر غلظت و زمان‌های مختلف پرایمینگ با هورمون اسید جیبرلیک در دماهای مختلف جوانه زنی (نمودارهای سمت راست= زمان ۶ ساعت و سمت چپ= زمان ۱۲ ساعت می‌باشد).

Figure 2- Germination changes due to the different concentrations and durations of seed priming by gibberellic acid at different germination temperatures (Right plots =time 6 hours, left plots= time 12 hours, respectively)



شکل ۳- تغییرات یکنواختی جوانه زنی بذر گل گاوزبان تحت تأثیر پیش تیمار با اسید جیبرلیک (a) و دماهایی مختلف (b).

Figure 3- Effect different concentrations of gibberellic acid (a) and different temperature (b) on germination uniformity of borage seeds.

Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008). از آنجا که یکنواخت جوانه زدن در عملکرد نهایی به خصوص از لحاظ کیفیت دانه‌های برداشت شده و رسیدگی همزمان

گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که پیش تیمار باعث افزایش یکنواختی جوانه زنی می‌گردد (Bahrani and Pourreza., 2012; Patade *et al.*, 2011;)

برتری این مدل در تخمین جوانه‌زنی بذرهای گل‌گاوزبان بود.

در مدل‌سازی واکنش سبزشدن گیاه‌سازویی (*Scrophularia striated*) به دما مشخص گردید که تابع بتا از اعتبار بیشتری در تخمین پارامترهای مورد بررسی برخوردار بوده است (Karavani et al., 2014). همچنین محققین دیگری نیز از مدل بتا برای تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی استفاده کردند (Soltani et al., 2006; Jame and Cutforth., 2004). دمای پایه، مطلوب و سقف با توجه به مدل برتر (بتا) برای گل‌گاوزبان اروپایی به ترتیب ۰/۵۱، ۲۱/۵ و ۳۵/۱ درجه سلسیوس می‌باشد (جدول ۲). نتایج نشان داد کاربرد اسید جیبرلیک موجب تغییر دمایی کاردینال و افزایش دامنه دمای جوانه‌زنی گل‌گاوزبان شد به طوری که دمای پایه، مطلوب و سقف در اثر کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید جیبرلیک به ترتیب ۰/۶۲، ۲۲/۶ و ۳۵/۷ درجه سلسیوس و در اثر کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید جیبرلیک به ۰/۳۳، ۲۳/۵ و ۳۵/۸ درجه سلسیوس تغییر یافت (جدول ۲). برآورد دما توسط مدل دندان‌های نشان داد که بازده دمای بهینه برای جوانه‌زنی گل‌گاوزبان در تیمار پرایم نشده بین ۱۸ تا ۲۶ درجه سلسیوس بود، در حالی که در تیمارهای پرایم شده با اسید جیبرلیک این بازده دمایی بین ۱۹ تا ۲۷ درجه بسته به میزان غلظت اسید جیبرلیک افزایش نشان داد (جدول ۲). همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش دما و غلظت اسید جیبرلیک در مدل برتر (مدل بتا)، درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۵-۲۲ درجه سلسیوس و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک مشاهده گردید (شکل ۴). با افزایش دما بالاتر از دمای مطلوب و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، میزان درصد جوانه‌زنی کاهش یافت.

مطالعه انجام شده بر روی جوانه‌زنی گیاه همیشه بهار نشان داد که علی‌رغم توانایی جوانه‌زنی در محدوده

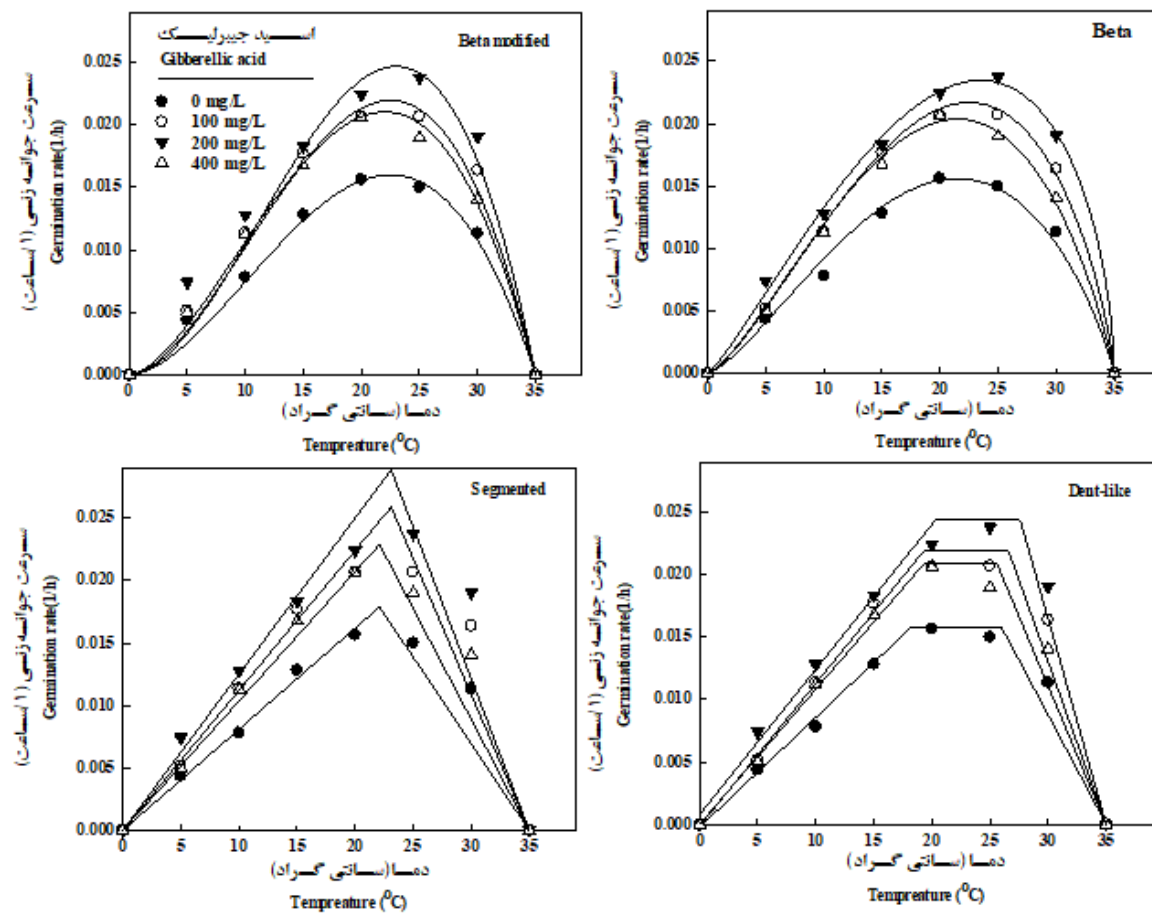
خیلی مؤثر است، لذا به نظر می‌رسد هر تیماری که این مؤلفه را کنترل کند سهم به‌سزایی در تولید دانه‌های یکدست و هم‌شکل و با کیفیت داشته باشد. در پژوهشی، سطوح مختلف دما بر رفتار جوانه‌زنی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)، شاهدانه (*Sesamus indicum* L.) و کنجد (*Cannabis sativa* L.) بررسی گردید. نتایج نشان داد که کمترین یکنواختی جوانه‌زنی برای بذور رازیانه در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و برای بذور شاهدانه و کنجد در دمای ۱۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. در دماهای کمتر و بیشتر از ۱۵ درجه سلسیوس برای شاهدانه و کنجد، یکنواختی جوانه‌زنی افزایش یافت (Alipoor and Mahmodi, 2015). هر قدر طول این مدت کوتاه‌تر باشد حاکی از جوانه‌زنی همزمان بذور است، برعکس طولانی‌بودن این مرحله نشان می‌دهد که بذرها به‌طور همزمان جوانه نزنند بلکه جوانه‌زنی در دوره‌های زمانی بیشتری صورت گرفته است. در آزمایشی بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی همیشه بهار در دمای ۱۵ درجه سلسیوس مشاهده شد (Aghazadeh et al., 2016).

تعیین دماهای کاردینال

برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل‌های دندان‌های، بتا، بتا اصلاح شده و دوتکه‌ای استفاده شد. مقادیر معیارهای موردنظر برای مقایسه مدل‌های مختلف به‌منظور انتخاب مدل برتر برای توصیف سرعت جوانه‌زنی بذر گل‌گاوزبان اروپایی نسبت به دما و سطوح اسید جیبرلیک در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به این معیارها، به‌منظور توصیف سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و سطوح مختلف اسید جیبرلیک از مدل برتر جهت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی استفاده شد. بهترین مدل بخش بزرگتری از تغییرات را توجیه (R^2 بزرگتر) و جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) کوچکتری دارد (Ajam-Norouzi et al., 2007). با توجه به جدول ۲، مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها دارای پارامترهای RMSE کمتر و R^2 بیشتر بود که نشان دهنده

مورد نیاز برای تکمیل شدن فرایند جوانه‌زنی در دمای بهینه (f_0)، با استفاده از تیمار پیش تیمار، از $64/10 \pm 2/64$ در تیمار شاهد به $42/60 \pm 0/23$ ساعت در تیمار اسید جیبرلیک 200 میلی گرم در لیتر کاهش یافت که نشان دهنده افزایش سرعت جوانه‌زنی در دمای بهینه توسط این تیمار است (جدول ۲).

دماهای ۲ تا ۳۲ درجه سلسیوس، دمای بهینه برای جوانه‌زنی این گیاه بین ۱۶ تا ۱۷ درجه سلسیوس می‌باشد (Carrie et al., 2014). همچنین در مطالعه دیگر، دمای حداقل، مطلوب و حداکثر برای جوانه‌زنی گل‌گاوزبان اروپایی به ترتیب ۵، ۲۹/۹ و ۳۹/۹ درجه سلسیوس بود (Akram-Ghaderi et al., 2008). نتایج بدست آمده از مدل‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که حداقل ساعت



شکل ۴- مدل‌های بتا، بتا اصلاح شده، دندان‌های و دوتکه‌ای برازش داده شده بر سرعت جوانه‌زنی تحت دماهای مختلف به منظور تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی گل‌گاوزبان تحت تیمار با هورمون اسید جیبرلیک.

Figure 4- Beta, Beta modified, dent-line and segmented models fitted on seed germination rate under different temperatures to determine cardinal temperatures of borage germination under pretreatment with gibberellic acid.

جوانه‌زنی در غلظت 200 میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک، حدود 600 ساعت بود. با افزایش غلظت اسید جیبرلیک، مقدار زمان گرمایی بیشتری نیاز است تا 50 درصد جوانه‌زنی

روند تغییرات زمان گرمایی برای کسرهای مختلف جوانه‌زنی تحت غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک (شکل ۵)، نشان داد که زمان گرمایی مورد نیاز برای 50 درصد

سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2010) گزارش نمودند که کاربرد این مدل‌ها در ایران کمتر مشاهده شده است و می‌توان از این مدل‌ها بیشتر در پژوهش‌های علوم بذر و به‌خصوص در واکنش جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب استفاده نمود.

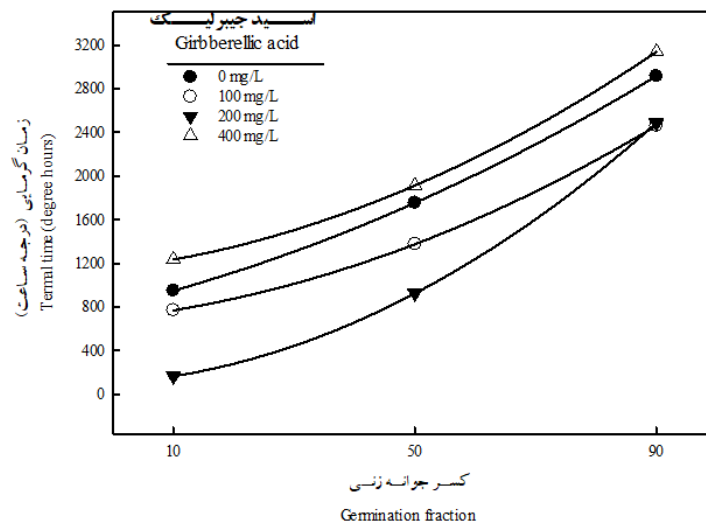
صورت گیرد، به طوری که در غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر نزدیک ۱۷۰۰ ساعت برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نیاز است. محققین دیگری نیز از مدل‌های زمان گرمایی برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن استفاده کردند (Soltani *et al.*, 2008; Nazari *et al.*, 2017).

جدول ۲- پارامترهای تخمینی برای مدل‌های بتا، بتا اصلاح شده، دندانه‌ای و دوتکه‌ای جوانه‌زنی بذور گل گاوزبان اروپایی

Table 2- Estimated parameters for the Segmented, Beta, Beta modified and Dent-like models germination of borage officinalis seeds

مدل‌ها Models	اسید جیبرلیک (میلی گرم در لیتر) Gibberellic acid (mg/L)	دمای کمینه T_b	دمای بهینه کم T_{o1}	دمای اوج T_o	دمای بهینه بالا T_{o2}	دمای بیشینه T_c	حداقل مدت زمان جوانه‌زنی f_0	ضرایب رگرسیون c	ضریب همبستگی R^2	میانگین ریشه مربعات خطا RMSE
بتا اصلاح شده Beta modified	0	1.54±0.20	-	22.50±0.46	-	35.10±0.20	62.50±3.45	-	0.980	0.0010
	100	0.62±0.12	-	22.42±0.36	-	35.52±0.32	45.50±2.87	-	0.980	0.0014
	200	0.41±0.28	-	23.00±0.78	-	35.78±0.41	40.50±3.46	-	0.941	0.0026
	400	0.61±0.12	-	22.10±1.45	-	35.00±0.34	47.50±3.41	-	0.992	0.0008
بتا Beta	0	0.51±0.26	-	21.51±1.1	-	35.10±0.01	64.10±2.64	1.42±0.50	0.985	0.0010
	100	0.62±0.12	-	22.60±1.45	-	35.72±0.97	46.10±3.21	1.40±0.62	0.998	0.0006
	200	0.33±0.68	-	23.50±0.59	-	35.80±0.45	42.60±3.42	1.21±0.23	0.997	0.0008
	400	0.71±0.02	-	21.30±0.64	-	35.00±0.24	49.10±4.11	1.47±0.74	0.996	0.0007
دوتکه‌ای Segmented	0	0.59±0.26	-	22.45±0.22	-	35.00±1.20	0.018±0.0024	-	0.924	0.0023
	100	1.62±0.12	-	23.10±1.23	-	35.00±0.96	0.026±0.0014	-	0.934	0.0030
	200	1.35±0.68	-	23.80±1.41	-	36.20±0.75	0.029±0.000	-	0.938	0.0032
	400	0.88±0.02	-	22.23±0.87	-	35.42±0.83	0.023±0.0017	-	0.936	0.0028
دندانه‌ای Dent-like	0	1.51±0.26	18.20±2.38	-	26.00±1.94	35.11±0.93	63.36±4.61	-	0.972	0.0016
	100	1.62±0.12	19.30±2.66	-	26.60±1.66	35.22±0.85	45.64±3.28	-	0.972	0.0022
	200	1.33±0.68	20.30±2.10	-	27.60±1.07	35.40±0.58	41.00±3.22	-	0.983	0.0019
	400	1.61±0.02	19.30±2.63	-	25.60±2.05	35.10±0.94	47.94±3.37	-	0.973	0.0021

T_b , T_o , T_c , T_{o1} , T_{o2} , f_0 و c به ترتیب دمای پایه، دمای بهینه، دمای بیشینه، دمای حد پایین، دمای حد بالا، حداقل زمان رسیدن به درصد مورد نظر، پارامتر بتا و ضریب T_b , T_o , T_c , T_{o1} , T_{o2} , f_0 و c are base temperature, optimum temperature, maximum temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum time to reach a given percentile, parameter of beta function, coefficient of regression, respectively



شکل ۵- روند تغییرات زمان گرمایی برای کسرهای مختلف جوانه‌زنی تحت تأثیر اسید جیبرلیک.

Figure 5- Trend of Thermal time (degree hours) changes for different germination fractions influenced by gibberellic acid

سقف با توجه به مدل برتر (بتا) برای گل گاوزبان اروپایی به ترتیب ۰/۵۱، ۲۱/۵ و ۳۵/۱ درجه سلسیوس تعیین گردید که در اثر غلظت بهینه اسید جیبرلیک (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) به ۰/۳۳، ۲۳/۵ و ۳۸/۸ درجه سلسیوس تغییر یافت؛ بنابراین در کشت بهاره این گیاه در مناطق سردسیر به منظور افزایش سرعت جوانه‌زنی این گیاه در اوایل فصل رشد به علت پایین بودن دما هوا استفاده از اسید جیبرلیک به علت کاهش دمای پایه جوانه‌زنی قابل توصیه می‌باشد. همچنین در کشت پاییزه این محصول در مناطق گرمسیری با توجه به بالا بودن دما هوا در اوایل فصل رشد در این مناطق اسید جیبرلیک با افزایش حد آستانه تحمل در این گیاه می‌تواند مناسب باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مشخص شد، بیشترین درصد جوانه‌زنی در بذرهای پریم شده با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک حاصل شده و زمان گرمایی مورد نیاز برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت بذری، در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید جیبرلیک، حدود ۶۰۰ ساعت بود و با افزایش غلظت اسید جیبرلیک، مقدار زمان گرمایی بیشتری نیاز بود تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی صورت گیرد. همچنین مشخص شد که مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها دارای دقت برتری در تخمین جوانه‌زنی بذرهای گل گاوزبان بوده و بر این اساس، دمای پایه، مطلوب و

Reference

- Alvarado, V., and K.J. Bradford. 2006. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant. Cell Environ.* 25(8): 1061-1069.
- Aghazadeh, A., Gh. Parmon, A. Samadi-Kalkhoran, Z. Jodi, and B. Ismail-Pour. 2016. Determine the optimum temperature for germination of medicinal (*Cantharanthus roseus*), (*Calendula officianalis*) and (*Silybum marianum* L). *Res. J. Seed Sci.* 2: 23-11. (In Persian)

منابع

- Ajam-Norouzi, H., A.E. Soltani, Majidi, and M. Homaei. 2007.** Modeling response of emergence to temperature in (*Faba bean* L.) under field condition. J. Agric. Sci. Nat. Res, 14: 100-111.
- Akram-Ghaderi F., A. Soltani, and H.R. Sadeghipour. 2008.** Cardinal temperatures of germination medicinal Pumpkin (*Cucurbita pepo convar. Pepo var. styriaca*), Borago (*Borago officinalis* L.) and Black cumin (*Nigella sativa* L.). J. Plant Sci. 7(6): 574-578.
- Alipoor, Z. and S. Mahmodi. 2015.** Effect of different temperature on germination properties of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Cannabis (*Cannabis sativa* L.) and Sesame (*Sesamus indicum* L.). Iranian J. Seed Res. 2(1): 37-51. (In Persian, with English Abstract)
- Ashraf, M., and M.R. Foolad. 2005.** Effect of thermoprimering on activities of enzymes in the germinating Seed Adv. Agron. 88: 248-252.
- Awan, S. Z., J.O. Chandler, P.J. Harrison, M.J. Sergeant, T.D. Bugg, and A. J. Thompson., 2017.** Promotion of germination using hydroxamic acid inhibitors of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase. Front. Plant Sci. 8: 357-362.
- Azimi, R., M. Khajehhosseini, and F. Fallahpour. 2013.** Evaluation of seed germination properties of Bromus (*Bromus kopetdaghensis Drobov*) under different temperature treatments., Iranian J. Nat. Resour. 67(2): 253-261. (In Persian)
- Bahrani, A. and J. Pourreza. 2012.** Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. World Appl. Sci. 18(5): 633-641.
- Bailly, C., A. Benamar, F. Corbineau, D. Come. 2000.** Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Sci. Res. 10: 35-42.
- Carrie, A., E.F. Forcella, R. Gesch, D. Peterson, and J. Eklund. 2014.** Seed germination of calendula in response to temperature. Ind. Crops. Prod. 52: 199-204.
- Coolbear, P., A. Francis, and D. Grierson. 1984.** The effect of low temperature pre-sowing treatment under the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. J. Exp. Bot. 35: 1609-1617.
- Dorri, M.A., B. Kamkar, M. Aghdasi, and E. Komshi-Kamar. 2014.** Determine the best model to evaluate the germination characteristics and cardinal temperatures of milk thistle. Iran J. Seed Sci.Tech. 3: 189-200. (In Persian)
- Ebrahim, B., F. Goshchi, and M. Nasri. 2014.** Investigation of hydropriming effects on some germination and growth characteristics of (*Echium amoenum* L.) under laboratorial conditions. Agron. Res. in the desert margin, 11(2): 97-83. (In Persian)
- Eisvand, H.R., A. Sharafi, and A. Ismaeili. 2013.** Effects of hydro and osmoprimering in different temperatures on germination and seedling growth of *Satureja khuzistanica Jamzad* under drought stress. Iran. J. Medic. Aromat. Plants. 29(2): 343-357. (In Persian)
- Farooq, M., S.M.A. Basra, E.A. Warraich, and A. Khaliq. 2006.** Optimization of hydropriming Technigues for rice seed invigoration. Seed Sci. Technol. 34: 529-534.
- Flores, J. and O. Briones. 2001.** Plant life-form germination in a mexican inter- tropical and desert: effect of soil water potential and temperature. J. Arid Environ. 47: 485-497.
- Ghassemi-Golezani, K., A. Asghar-Aliloo, M. Valizadeh, and M. Moghaddam. 2008.** Effects of hydro and osmo-priming on seed germination and field emergence of lentil (*Lens culinaris Medik.*). Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj-Napoc. 36(1): 29-33.
- Hardgree, S.P., and A.H. Winstral. 2006.** Predicting germination response to temperature. Annu. Bot. 98: 403-410.
- ISTA, 2013.** International rules for seed testing. International Seed Testing Association
- Jabbari, R., M. Amini-Dehaghi, F. Ganji-Arjenaki, and K. Agahi. 2011.** How duration and methods of priming may affect the germination of cumin seeds (*Cuminum cyminum* L.). J. Crop Sci. 4(4): 23-30. (In Persian)

- Jame, Y.W., and H.W. Cutforth. 2004.** Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agric. For. Meteorol.* 124: 207-218.
- Kader, M.A., and S.C. Jutzi. 2004.** Effect of thermal and salt treatments during imbibitions on germination and seedling growth of sorghum at 42/19°C. *J. Agron. Crop Sci.* 190: 35-38.
- Karavani, B., R. Tavakol-Afshar, N. Majnoon-Hosseini, and A. Mousavi. 2014.** Evaluation of germination parameters of *Scrophularia striata* under water and salinity stresses at different temperatures. *Iranian J. Crop Sci.* 45: 265-275. (In Persian)
- Lashkari, A., P.R. Rezvanimghadam, and A. Ghafouri. 2014.** Determination of minimum, optimal and maximum germination temperatures of (*Echium amoenum* Fisch& Mey) using regression models. *Iranian J. Field Crop Res.* 12(2): 164-169. (In Persian)
- Liopa-Tsakalidi, A., G. Kaspiris, G. Salahas, and P. Barouchas. 2012.** Effect of salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA₁) pre-soaking on seed germination of *Stevia (Stevia rebaudiana)* under salt stress. *J. Med. Plant. Res.* 6: 416-423.
- Lonati, M., D.J. Moot, P. Aceto, A. Cavallero., and R.J. Lucas. 2009.** Thermal time requirements for germination, emergence and seedling development of adventive legume and grass species. *N. Z. J. Agric. Res.* 52: 17-29.
- Mwale, S.S., S.N. Azam-Ali, J.A. Clark, R.G. Bradley, and M.R. Chatha. 1994.** Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Sci. Technol.* 22: 565-571.
- Nazari, N., A. Mamedi, and S.M. Bagher-Hoseine. 2017.** The evaluation response of onion (*Allium cepa*) seed germination to temperature by Thermal-time analysis and determine cardinal temperatures by using nonlinear regression. *Iran. J. Field Crop Sci.* 48(4): 961-971. (In Persian)
- Parmoon, G., S.A. Moosavi, H. Akbari, and A. Ebadi. 2015.** Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum*. *Seed Crop J.* 3(2): 145-151.
- Parmoon, Gh, A. Ebadie, and M. Asadi, 2016.** Effect salinity stress on some germination characters and and growth seedling *Silybum marianum* and *Echinops candidus*. *Iranian J. seed Sci. Technol.* 4: 39-52 (In Persian)
- Paparella, S., S.S. Araújo, G. Rossi, M. Wijayasinghe, D. Carbonera, and A. Balestrazzi. 2015.** Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant. Cell. Rep.* 34(8): 1281-1293.
- Patade, V.Y., K. Maya, and A. Zakwan. 2011.** Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *Res. J. Seed Sci.* 4(3): 125 -136.
- 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.
- 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.
- Rouhi, H.R., M.A. Aboutalebian, S.A. Moosavi, F.A. Karimi, F. Karimi, M. Saman, and M. Samadi. 2012.** Change in several antioxidant enzymes activity of Berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) by priming. *Int. J. Agric.* 2(3): 237- 243.
- Rowse, H.R. and W.E. Finch-Savage. 2003.** Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub-and supra-optimal temperatures. *New Phytol.* 158(1): 101-108.
- Scott, S., R. Jones, and W. Williams. 1984.** Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Sci.* 24: 1192-1199.
- Soltani, A. and V. Maddah. 2010.** Simple, applied programs for education and research in agronomy. Shahid Beheshti University Press, Tehran, Iran. (In Persian)
- Soltani, A., S. Galeshi, E. Zainali, and N. Latifi. 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60.
- Soltani, A., M.J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Dazand, and R. Sarparast. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. *Agric. For. Meteorol.* 138: 156-167.

Soltani, E., F. Akram-Ghaderi, and A. Soltani. 2008. Applications of germination modeling on the response to temperature and water potential in seed science research. 1st Natl. Conf. Seed Sci. Technol. in Iran. Gorgan, Iran. (In Persian)

Soltani, E., S. Galeshi, B. Kamkar, and F. Akram-Ghaderi. 2008. Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Sci. Biotechnol*, 2:32-36.

Tabrizi, L., A. Koocheki, M. Nassiri-Mahallati, and P. Rezvani-Moghaddam. 2008. Germination behaviour of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus Klokov*) with application of regression models. *Iran. J. Field Crop Res.* 5: 249-257. (In Persian)

Wang, W.Q., S.Q. Song, S.H. Li, Y.Y. Gan, J.H. Wu, and H.Y. Cheng. 2009. Quantitative description of the effect of stratification on dormancy release of grape seeds in response to various temperatures and water contents. *J. Exp. Bot.* 60:3397–3406.

Yan, W. and L. A. Hunt. 1999. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Ann. Bot.* 84: 607–614.

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. Meteor.* 77: 1–16.