

تعیین دماهای بحرانی جوانه‌زنی بذر کتان (*Linum usitatissimum* L.) به‌روش رگرسیون غیر خطی

نبی خلیلی اقدم^{۱*}، تورج میرمحمودی^۲، شهریار سعیدیان^۳

^۱استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

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

^۳استادیار، گروه بیولوژی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۵

چکیده

دمای محیط و تأثیر آن بر جوانه‌زنی یکی از عوامل اصلی در پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی و به‌ویژه مدل‌سازی است. به این منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار و ۱۰ سطح دمایی (۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) روی بذر کتان در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه اسلامی واحد مهاباد اجرا شد. به‌منظور تعیین دماهای کاردینال سه مدل رگرسیون غیرخطی تابع دندان مانند، تابع بتا و تابع ۵ پارامتره بتا مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تأثیر دما بر سرعت، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی بذر معنی‌دار بود. بالاترین درصد و یکنواختی جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و بیشترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. اگرچه اختلاف چندانی بین مدل‌های برازش یافته در تخمین دماهای کاردینال وجود نداشت ولی مدل بتا بواسطه دارا بودن کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات و بیشترین ضریب تبیین و ضریب همبستگی بهترین مدل برای تخمین دماهای کارینال کتان انتخاب شد که براساس آن دمای پایه ۵، دمای مطلوب ۲۲/۰۲ و دمای سقف ۴۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد ضمن اینکه حداکثر سرعت جوانه‌زنی نیز (۰/۰۰۵۸: بر ساعت) بود.

واژه‌های کلیدی: تابع، دمای کاردینال، کتان، مدل‌سازی، محیط

کتان گیاهی است علفی، یکساله، متعلق به تیره کتان (Linaceae) که منشاء آن غرب مدیترانه و جنوب شرق آسیا (Jhala and Hall, 2010) گزارش شده است. استفاده از این گیاه با نام علمی *Linum usitatissimum L.* چند منظوره (استخراج روغن و الیاف) بوده و در مناطق خشک و گرم تا معتدله رشد و نمو می‌کند (Iran-Nejad and Hosseini, 2005) و از این نظر دما تأثیر مهمی بر رشد و استقرار آن دارد. سینک و همکاران (Sink et al., 2004) بیان داشتند که درجه حرارت محیط موفقیت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را تعیین می‌کند و از این طریق بر ظرفیت و سرعت جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد. درجه حرارت‌های کمی (دماهای کاردینال جوانه‌زنی) با تأثیری که روی جوانه زنی بذر می‌گذارند، ممکن است برای ارزیابی ویژگی‌های جوانه زنی یا پتانسیل استقرار گونه‌های گیاهی مفید باشد و در فرآیند اهلی سازی گیاهان از اهمیت شایانی برخوردار است (Kheirkhah et al., 2011).

دمای کاردینال پارامتری است که در مدلسازی، پیش‌بینی مراحل رشدی گیاه و تعیین واحدهای حرارتی مورد نیاز در هر مرحله رشدی کاربرد فراوان دارد و در گونه‌های زراعی بهاره برای تعیین تاریخ کشت مناسب و در نتیجه استقرار مطلوب بوته بسیار مهم است (Gholami-Tilebeni et al., 2011). در واقع با تعیین دماهای کاردینال برای گونه‌های مختلف، تخمین محدوده جغرافیایی مطلوب برای کشت و رشد مناسب گیاه امکان‌پذیر خواهد بود (Mahmoodi et al., 2008). گزارشات زیادی در زمینه استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای تخمین دماهای کاردینال وجود دارد. کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2006) دماهای کاردینال سه گونه ارزن را با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی خطوط متقاطع تعیین نمودند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) نیز جهت تعیین دماهای کاردینال گندم از مدل رگرسیون غیر خطی بتا استفاده کردند. محمودی و همکاران (Mahmoodi et al., 2008) نیز نشان دادند که توابع رگرسیون دندان مانند و دو تکه‌ای بهترین مدل‌ها برای تعیین دمای کارینال یونجه حلزونی هست. از توابع بتا و دندان مانند نیز توسط سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006) در ارزیابی پاسخ جوانه‌زنی نخود به سطوح مختلف دما و عمق کاشت استفاده شده است. در تحقیقی روی ماشک سردسیری و گرمسیری، مدل دو تکه‌ای بخوبی قادر به برآورد دمای کاردینال جوانه‌زنی بود (Khaliliaqdam and Jalilian, 2015) همچنین خیرخواه و همکاران (Kheirkhah et al., 2011) از سه مدل خطوط متقاطع، ۵ پارامتری بتا و چند جمله‌ای برای برآورد دمای کاردینال کاکوتی چندساله استفاده نموده و گزارش دادند که دماهای پایه بین ۵ تا ۵/۸، بهینه بین ۲۲ تا ۲۲/۶ و بیشینه بین ۳۹/۵ تا ۴۰/۵ درجه سانتی‌گراد در هر سه مدل متغیر بود. صبوری و همکاران (Sabouri rad et al., 2011) نیز نشان دادند که دقت مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان مانند و دو تکه‌ای در تخمین دمای کاردینال ژنوتیپ‌های برنج متفاوت است.

مطالعات متعددی دیگری نیز در خصوص تعیین دمای کاردینال صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات روی تره ایرانی (Golzar et al., 2008)، کدوی تخم کاغذی و سیاه دانه (Ghaderi far et al., 2008)، منداب (Jalilian and Khaliliaqdam, 2015)، علف خرچنگ (Pourtsi et al., 2009)، همیشه بهار (Khaliliaqdam et al., 2016)، کاسنی (Balendari et al., 2011)، گندم (Ahmadi et al., 2010; Condon et al., 2010; Zeinali et al., 2010)، کوشیا (Sabouri rad et al., 2011) علف گندمی (Hardegree, 2006)، فلفل (Cho et al., 2012) و خاکشیر (Pourreza and Bahrani, 2012) اشاره داشت. از آنجایی که بررسی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها نسبت به دما و شناخت دماهای کاردینال در جهت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ مناسب کاشت،

گزینش گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، مفید است (Mwal et al., 1994 ; Ramin, 1997)، لذا تحقیق حاضر بنا به چنین ضروریاتی در مورد کتان به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

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

$$R50=1/D50$$

$$GU= D90-D10$$

که در آن R50 سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت) و برابر است با سرعت جوانه‌زنی در زمانی که جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر مقدار خود می‌رسد. D90 و D50, D10 هم به ترتیب زمان تا رسیدن درصد جوانه‌زنی به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر مقدار خود هستند. GU نیز یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) است که عکس سرعت جوانه‌زنی بوده و با آن رابطه عکس دارد. تأثیر دما بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را می‌توان برحسب دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و سقف) بیان نمود. به‌منظور توصیف دما و سرعت جوانه‌زنی و برآورد دماهای کاردینال از مدل‌های رگرسیون غیرخطی تابع دندان مانند، تابع بتا و تابع ۵ پارامتره بتا استفاده گردید که پس از برازش این مدل، دماهای کاردینال جوانه‌زنی کتان محاسبه شدند.

۱- تابع دندان مانند (Soltani et al., 2006):

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

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

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

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

۲- تابع بتا (Soltani et al., 2006):

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

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

۳- تابع ۵ پارامتره بتا (Yin, 1996):

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

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

که در آن T_b دمای پایه، To_1 دمای مطلوب تحتانی، To_2 دمای مطلوب فوقانی، T_c دمای سقف و $f(T)$ تابع دمایی سرعت جوانه‌زنی و a و β و μ ضرایب رگرسیون هستند. تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در محیط برنامه آماری SAS (SAS, 2001) شد. همچنین برای نرمال سازی داده‌های درصد جوانه‌زنی بر روی آن‌ها تبدیل $ARC \sin$ انجام شد. ضمن اینکه مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی (روی داده‌های تبدیل نشده درصد جوانه‌زنی) با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و استخراج ضرایب نیز با استفاده از رویه ProcNlin صورت گرفت.

نتایج

نتایج تأثیر سطوح مختلف دما بر جوانه‌زنی بذر کتان نشان داد که دما بر هر سه مولفه درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر معنی‌دار ($P < 0.01$) شد (جدول ۱). کمترین درصد جوانه‌زنی نیز به دماهای پایین (۳ و ۵ درجه سانتی‌گراد) و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اختصاص داشت و به همین ترتیب بالاترین درصد نهائی جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۱). مشابه با تأثیر دما بر درصد جوانه‌زنی، کمترین سرعت جوانه‌زنی در دماهای ۳، ۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد (جدول ۲) اما به طور متفاوت‌تر بیشینه سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و همان‌طور که قابل انتظار بود در بین دماهای جوانه‌زنی کمترین یکنواختی جوانه‌زنی در دماهای اتفاق افتاد که دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی بودند (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد).

کمی سازی واکنش جوانه‌زنی بذر کتان به سطوح مختلف با استفاده از سه تابع بتا، دندان مانند و تابع ۵ پارامتره بتا نیز نشان داد اختلاف چندانی بین سه تابع فوق از جهت برآورد دماهای پایه و سقف وجود نداشت (جدول ۳). به این ترتیب که در مدل بتا دمای پایه، مطلوب و بیشینه برابر ۵، ۲۲/۰۲ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید ضمن آنکه ماکزیمم سرعت جوانه‌زنی نیز ۰/۰۰۵۸ بر ساعت بود. در مدل ۵ پارامتره بتا با اختلاف نه چندان زیاد نسبت به مدل بتا، دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۲۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه ۴۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و در مدل دندان مانند نیز مقادیر دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و بیشینه به ترتیب عبارت بودند از: ۴/۰۷، ۱۲/۶۸، ۳۳/۳ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد.

پس از برازش مدل‌های مختلف برای توصیف سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما جهت تعیین بهترین مدل، از پارامترهای مختلف ارزیابی از جمله ضریب تبیین (R^2)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و معنی دار بودن یا نبودن ضرایب رگرسیون عرض از مبدا برازش مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده استفاده شد و بدین ترتیب مدل بتا بواسطه دارا بودن مقادیر کمتر ضریب تغییرات و ریشه میانگین مربعات خطا و بالابودن ضریب همبستگی و ضریب تبیین، بعنوان بهترین مدل انتخاب شد. با وجودی که شیب رگرسیون سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در مقابل سرعت جوانه‌زنی شبیه‌سازی شده در هر سه مدل معنی‌دار بود و این به معنی اریب دار بودن خط رگرسیون از خط یک به یک است که در هر سه میزان این انحراف پایین بود (شکل ۲). از طرفی در مقایسه سایر پارامترهای تعیین کننده قابلیت برازش بهتر مدل‌ها با همدیگر، مدل بهتر، مدل بتا انتخاب گردید زیرا دارای مقادیر کمتر ضریب تغییرات (۱۱/۴۵)، ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۳۶) و مقادیر بالاتر ضریب تبیین (۰/۹۸) و ضریب همبستگی (۰/۹۹) بود (جدول ۴).

بحث

بررسی کاهش درصد جوانه‌زنی در دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در بذره‌های این گیاه در حقیقت بیانگر وقوع شرایطی است که کاپلند و دونالد (Copeland and McDonald, 1995) در خصوص تغییر پذیری پروتئین‌های ضروری با افزایش دما در بذر بیان نموده‌اند. ضمن اینکه گزارشات متعدد حاکی از اثر افزایشی دما تا محدوده خاصی بر درصد و سرعت جوانه زنی بذرها می‌باشند (Banayan et al., 2006; Hardgegree and Winstral, 2006). از طرفی افزایش دما علاوه بر اثرات یاد شده می‌تواند زوال بذر را نیز بدنبال داشته باشد (Hardgegree, 2006). به‌طور کلی دما بدلیل اثر آن بر خواب، سرعت جوانه‌زنی و سرعت نهائی جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار میدهد (Bradford, 2002). خلیلی اقدم و جلیلیان (Khaliliaqdam and Jalilian, 2015) نیز نشان دادند که با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی حداقل در یک دامنه دمایی به‌طور خطی افزایش می‌یابد و در دماهای بالاتر از آن سریعاً افت پیدا می‌کند. تعیین دمای پایه گیاهان می‌تواند با هدف بهبود سازگاری به محیط‌های با دمای کم یا زیاد در مرحله جوانه‌زنی بسیار مفید باشد و در این رابطه مطالعه ژنوتیپ‌هایی با سازگاری اکولوژیکی متفاوت‌تر از مناطق اقلیمی گوناگون می‌تواند قابل دست‌یابی باشد (Zeinali et al., 2010).

از آنجایی که معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب a یا b در رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، موید بالا بودن خطای مدل در پیش‌بینی آن است. به عبارت ساده‌تر ضریب a معنی‌دار به این معناست که عرض از مبدا خط رگرسیون با عرض از مبدا خط ۱:۱ مطابقت ندارد و ضریب b معنی‌دار نیز به این مفهوم است که شیب خط رگرسیون با خط ۱:۱ مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب معنی‌دار است (Soltani et al., 2006). بنابراین هر چه نقاط به خط ۱:۱ در منحنی رگرسیون نزدیک‌تر باشند، کارایی بالاتر مدل را نشان می‌دهد. از طرفی پایین بودن مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات و در مقابل بالا بودن ضریب تبیین و ضریب همبستگی همگی از جمله شاخص‌های مهم در تعیین کارایی مدل به حساب می‌آیند (Khaliliaqdam et al., 2014). در این تحقیق نیز مدل بتا بدلیل دارا بودن مقادیر کمتر ضریب تغییرات، ضریب تبیین بالا، کمتر بودن ریشه میانگین مربعات خطا، بالا بودن ضریب همبستگی، نزدیکی داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده به خط یک به یک و نهایتاً معنی‌دار نشدن عرض از مبدا بعنوان بهترین مدل انتخاب شد.

این در حالی است که تبریزی و همکاران (Tabrizi et al., 2007) با ارزیابی مدل‌های مختلف جوانه‌زنی بر روی دو توده زراعی و طبیعی آویشن خراسانی نشان دادند که مدل پنج پارامتری بتا بهترین برازش را در خصوص بذره‌های توده طبیعی این گیاه دارد. دری و همکاران (Dorri et al., 2014) نیز مدل دو تکه‌ای را به‌عنوان مدل بهتر برای برآورد دماهای کاردینال گیاه ماریتیغال معرفی نمودند. همچنین در گزارش صبوری راد و همکاران (Sabouri-Rad, 2011) مدل ۵ پارامتره بتا به‌خوبی قادر به تخمین خوب دمای کاردینال جوانه‌زنی کوشیا بوده‌است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که هر سه مدل بخوبی قادر به برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر کتان بودند اما مدل بتا بواسطه دارا بودن مقادیر کمتر ضریب تغییرات و ریشه میانگین مربعات خطا و بالا بودن ضریب همبستگی و ضریب تبیین بهترین مدل انتخاب شد و در همین راستا دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر کتان، ۵ درجه سانتی‌گراد (دمای پایه)، ۲۲/۰۲ درجه سانتی‌گراد (دمای مطلوب) و ۴۰ درجه سانتی‌گراد (دمای سقف) بدست آمد.

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دماهای متناوب بر سرعت و درصد نهایی جوانه زنی بذر کتان

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی	درجه
یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت)	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت)	درصد	یکنواختی جوانه‌زنی	درجه آزادی
۵۷۸۰۹/۳۶**	۳۷۰۰/۱**	۰/۰۰۰۰۲**	۹	دما	۹
۲۱۹۱/۳۳	۳۱/۵۸	۰/۰۰۰۰۰۰۶	۳۰	خطا	۳۰
۱۴/۴۰	۱۷/۸۰	۱۸/۲۲		ضریب تغییرات	

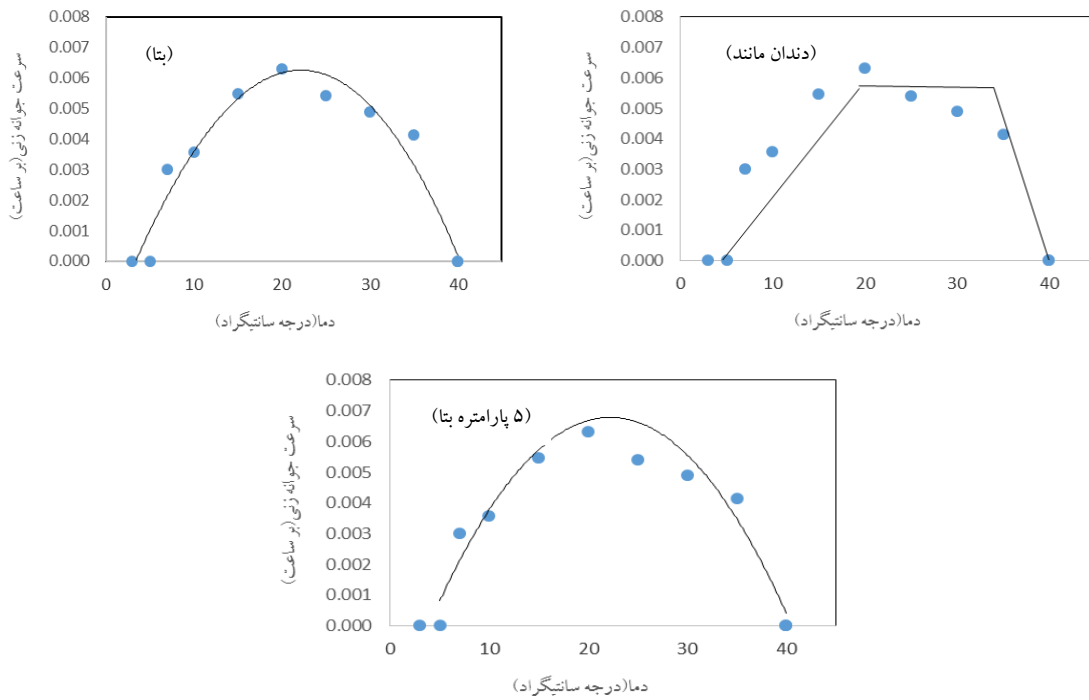
** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲: مقایسه میانگین درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی.

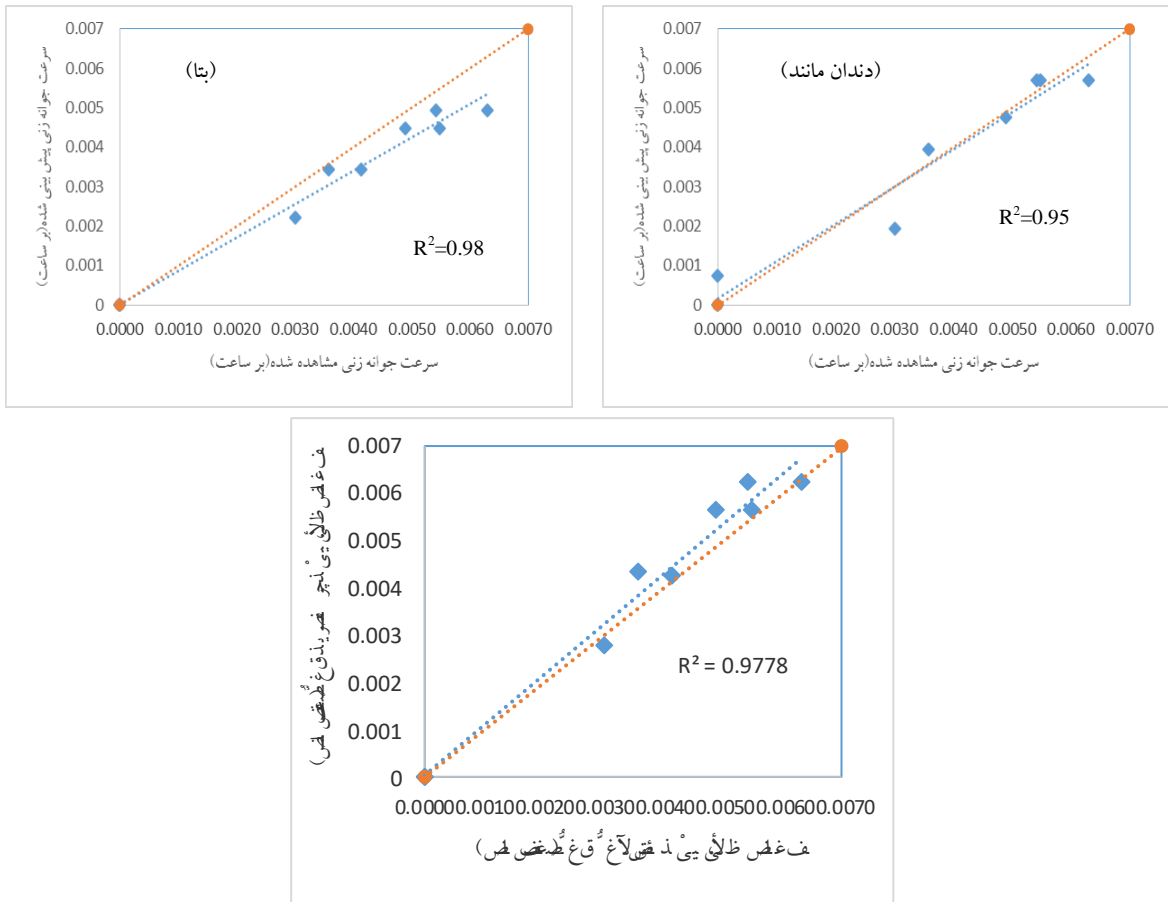
یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت)	سرعت جوانه‌زنی (بر ساعت)	درصد جوانه‌زنی	دما (درجه سانتی‌گراد)
۰/۰ e	۰/۰ f	۰/۰ e	۳
۰/۰ e	۰/۰ f	۰/۰ e	۵
۳۳۷/۷۸ a	۰/۰۰۳۰ d	۱۷/۵۰ d	۷
۲۹۰/۲۴ ab	۰/۰۰۳۶ d	۶۶/۶ ab	۱۰
۱۸۳/۹ cd	۰/۰۰۵۴ ab	۷۵/۸۳ a	۱۵
۱۶۶/۵ d	۰/۰۰۶۳ a	۶۴/۹۹ b	۲۰
۲۱۶/۱۵ bcd	۰/۰۰۵۲ abc	۳۷/۴۹ c	۲۵
۲۶۲/۷۹ ab	۰/۰۰۴۸ bc	۱۲/۴۹ d	۳۰
۲۷۰/۸۸ ab	۰/۰۰۴۱ cd	۹/۱۶ de	۳۵
۰/۰ e	۰/۰ f	۰/۰ e	۴۰
۸۴/۶۲	۰/۰۰۱۲	۱۰/۲۲	LSD(0.05)

جدول ۳: مقادیر دماهای کاردینال، حداکثر سرعت جوانه زنی (T_{max})، دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_0)، دمای مطلوب اولیه (T_{01})، دمای مطلوب ثانویه (T_{02})، دمای سقف (T_c)، ضرایب معادلات (a , b , μ) و سطح معنی‌داری در مدل‌های مختلف (P_{model}).

P_{model}	T_c	T_0	T_b	b	a	μ	مدل ۵ پارامتره بتا
۰/۰۰۰۱	$40 \pm 0/0006$	$21/92 \pm 0/0$	$5 \pm 0/0001$	$0/537 \pm 0/124$	$0/503 \pm 0/009$	$-8/12 \pm 0/58$	
P_{model}	T_c	T_0	T_b	r_{max}	a		مدل بتا
۰/۰۰۰۱	$40 \pm 0/0003$	$22/02 \pm 1/17$	$5 \pm 0/0001$	$0/0002$ $0/0058 \pm$	$0/501 \pm 0/1$		
P_{model}	T_c	T_{01}	T_{02}	T_b			مدل دو تک‌امای
۰/۰۱	$40 \pm 0/98$	$12/68 \pm 1/91$	$3/3 \pm 1/44$	$4/07 \pm 1/3$			



شکل ۱: پاسخ سرعت جوانه زنی به سطوح مختلف دمایی در مدل‌های مختلف.



شکل ۲: مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده سرعت جوانه زنی بذر کتان در مدل‌های مختلف.

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

مدل	Mean±Se	a±Se	b±Se	RMSE	R^2	r	CV
بنا	۰/۰۰۲۷۳±۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲۹ ±۰/۰۰۲۲۱	۱/۱۵±۰/۰۵۸	۰/۰۰۰۳۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۱۱/۴۵
۵ پارامتره بنا	۰/۰۰۲۶۲ ±۰/۰۰۲۶	-۰/۰۰۰۰۰۸۲±۰/۰۰۰۱۷	۰/۹۹ ±۰/۰۴۹	۰/۰۰۰۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۱۵/۶۴
دندان مانند	۰/۰۰۰۳۲±۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۴ ±۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۷±۰/۰۸۱۶	۰/۰۰۰۵۷	۰/۹۵	۰/۹۷	۱۸/۱۷

Reference

- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani A. and Zeinali, E. 2010. Evaluation of non-linear regression models to predict stem elongation rate of wheat (Tajan cultivar) in response to temperature and photoperiod.. Electronic J. Crop Prod. 2(4): 39-54.
- Balendari, A., Rezwani-Moghaddam P. and Nasiri Mahallati, M. 2011. Determination of cardinal temperature of seed germination of *Cichorium pumilium* Jacq. The second international conference of seed sciences and technology, Azad university of Mashhad.
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Rastgoo, M. and Tabrizi, L. 2006. Germination properties of some wild medicinal plants from Iran. J. Seed Technol. 28: 80-86.
- Bradford K.J. and Still, D.W. 2002. Applications of Hydro time Analysis in Seed Testing. Seed Technol. J. 26: 74-85.
- Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.
- Condon, A.G., Richards R. A. and Farquhar, G. D. 2002. Relationships between carbon isotope discrimination, water use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. Australian J. Agric. Res. 44:1693-1711.
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 1995. Principles of seed science and technology. Chapman & Hall, USA.
- Dorri, M.A., Kamkar, B., Aqdasi M. and Kameshi-Kamar, E. 2014. Determination of the best model for evaluation of germination cardinal temperatures in *Silybum marianum*. Iranian J. Sci. Res. 3(2):189-200.
- Ghadari-Far, F., Soltani A. and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperatures of germination medicinal pumokin, borago and black cumin, Asian J. Plant Sci, 7:6. 574-578.
- Gholami Tilebeni, H., Kurd-Firozjaei, Gh. and Zeinal, E. 2011. The determination of germination cardinal temperatures of rice cultivars, Seed Sci. Technol, 1(1):41-52.
- Gulzar, S., Khan M.A. and Ungar, L.A. 2008. Effect of salinity and temperature on the germination of *Urochondra setulosa* (Trin). Seed Sci. Technol., 29: 21-29.
- Hardegee, S. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. Ann. Bot, 97: 1115-1125.
- Hardegee, S.P. and Winstral, A.H. 2006. Predicting germination response to temperature. II. Three dimensional regression statistical gridding and iterative-probit optimization using measured and interpolated subpopulation data, Ann. Bot, 98:403-410.
- Iran-nejad, H. and Hosseini Mazinani, M. 2005. The effect of planting date on the seed yield of three varieties of oil flax in varamin, J. Agric. Sci. 4:1-10.
- Jalilian, J. and Khaliliaqdam, N. 2014. Effects of alternative temperatures on germination rate of Rocket seed. Iranian J. Seed Res, 2(1):127-133. .
- Jhala, A.J. and Hall, L.M. 2010. Flax: current uses and future applications, Australian J. Basic Appl. Sci, 4(9):4304-4312.
- Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati M. and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). Asian J. Plant Sci., 5: 316-319.
- Khaliliaqdam, N. and Jalilian, J. 2015. Estimation of germination cardinal temperatures in cold and tropical Vetch. Iranian J. Seed Sc. and Res, 2(1):37-43.
- Khaliliaqdam, N., Davoudi Sh. and Mir-Mahmoudi, T. 2014. Evaluation of non-regression models for quantify of 1000-grain weight in wheat. J. Plant Appl. Eco-physiol. Res., 1(3): 37-50.
- Khaliliaqdam, N., Mirmahmoudi, T. and Bakhshi khaniki, Gh. 2016. Estimation of cardinal temperatures of *Calendula officinalis* L. usage non-linear regression, J. Sci. technol. Seed, Accepted.

- Kheirkhah, M., Kochehi, A., Rezwani-Moqaddam, P. and Nasiri-Mahallati, M. 2011.** The determination of germination cardinal temperature of *Ziziphora clinopodioides* Lam. Iranian J. Field Crop Res. 11(4): 543-550.
- Mahmoodi, A., Soltani, E. and Barani, H. 2008.** Germination response to temperature in snail medic (*Medicago sativa* L.). Electronic J. Crop Prod, 1: 54-63.
- Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J., Bradley, R.G. and Chatha, M.R. 1994.** Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Seed Sci. Technol., 22: 565-571.
- Portosi, N., Rashed Mohassel M.H. and Izadi Darbandi, I. 2009.** Determination of cardinal temperature of (*Cenopodium album*), (*Portulaca oleracea*), (*Digitaria sanguinalis*). Iranian J. Agric. Res, 6(2): 255-261.
- Pourreza, J. and Bahrani, A. 2012.** Estimating cardinal temperatures of Milk thistle seed germination, American euracian J. Agric. Environ. Sci, 12(8): 1030-1034.
- Ramin, A.A. 1997.** The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium ampeloprasum* L. spp. Iranicum W.). Seed Sci. Technol, 25: 419-426.
- Sabouri-Rad, S., Kafi, M., Nezami A. and Banayan-Avval, M. 2011.** Estimation of minimum, optimum and maximum temperatures of *Kochia Scoparia* using of beta five parametric model. J. Agro-Eeco, 3(2): 191-197.
- SAS Institute. 2001.** The SAS system for windows. Release 9. 1. SAS Inst., Cary, NC. USA
- Sink, M., Reickhoff D. and Erbershobler A. 2004.** Effect of low temperatures on the germination of different field pea genotypes. Seed Sci. Technol., 32: 331-339.
- Soltani, A. and Maddah-Yazdi, V. 2010.** Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz M. and Sarparast, R. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. Agric. Forestry Metereol, 138: 156-167.
- Soltani, A., Galeshi, S., Zainali E. and Latifi, N. 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol, 30: 51-60.
- Tabrizi, L., Koochehi, A., Nasiri Mahalati M. and Rezwani, P. 2007.** Germination behavior of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) with application of regression models. Iranian J. Field Crops Res, 5: 249-257.
- Tekroni, D.M. and Egli, D.B. 1991.** Relationship of seed vigor to crop yield: a review. Crop Sci, 31: 816-822.
- Wang, J., Ferrell, J., MacDonald G. and Sellers, B. 2009.** Factors affecting seed germination of cadillo (*Urena lobata*). Weed Sci., 57 (1): 31-35.
- Yin, X. 1996.** Quantifying the effects of temperature and photoperiod on phenological development flowering in rice, PhD thesis, Wageningen. Agriculture University, the Netherland.
- Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi S. and Sadati, J. 2010.** Cardinal temperatures, reaction to temperature and thermal tolerance range of seed germination of wheat cultivars, (In Persian, with English Abstract). Electronic J. Crop Prod, 3:3. 23-42.