

ارزیابی جوانه‌زنی و تعیین دمای ویژه بذر شاهدانه (*Cannabis sativa*) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی

شیوا باروتی^۱، رضا توکل افشاری^{۲*}، ناصر مجنون حسینی^۳، عباس هاشمی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴)

چکیده

به منظور تعیین دمای ویژه بذرهای گیاه دارویی شاهدانه (*Cannabis sativa*)، تاثیر درجه حرارت‌های مختلف بر جوانه‌زنی، در یک مطالعه آزمایشگاهی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی واکنش جوانه‌زنی در دماهای ثابت ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بذرهای جوانه زده هر روز شمارش شده و سپس سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی محاسبه و نمودار دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه بر اساس سه مدل رگرسیونی دو تکه‌ای، بتا و دندان مانند ترسیم شد. نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی بذرها به طور معنی‌داری افزایش یافت، در حالی که اختلاف معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی دماهای ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. همچنین با افزایش دما به بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. در میان مدل‌های محاسبه شده، مدل دندان مانند دقت بالاتری را در تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه داشت، که بر اساس آن دمای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی بذر شاهدانه به ترتیب برابر ۱، ۳۹-۲۶ و ۴۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

کلمات کلیدی: دمای پایه، سرعت جوانه‌زنی، مدل دو تکه‌ای، مدل بتا، مدل دندان مانند، دمای ویژه، شاهدانه

Evaluation of Germination and determination of cardinal temperatures of *Cannabis sativa* by using regression models

Sh. Barooti¹, R. Tavakkol Afshari^{2*} and N. Majnon hoseini³, A. Hashemi⁴

1. MSc. Student Seed Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

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

3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

4. Ph.D Student Seed Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

(Received: Oct. 16, 2016 – Accepted: Mar. 4, 2017)

Abstract

To determine the specific temperature of Medicinal *Cannabis sativa*, the effects of different temperatures on germination, in a laboratory study in a completely randomized design with three replications were studied. Germination response assessment at constant temperatures (3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45°C) was conducted. The germinated seeds were counted every day and the rate of germination percentage, cumulative germination and cardinal temperatures diagram of *Cannabis sativa* seed germination based on 3 regression model including segmented model, Beta model and Dent like model. The results showed that the temperature increase of 3 to 25°C significantly increases the germination rate, while the germination rate did not differ at 25 to 40°C. Also with increasing temperature over 25°C, germination was reduced. Dent like model such as higher accuracy in determining the cardinal temperatures hemp seed germination was compared with other models, Base, optimum and maximum temperature of seed germination of *Cannabis sativa* based on Dent like model was determined 1, 26-39.3 and 48°C respectively.

Keywords: base temperature, germination rate, Segmented model, Beta model, Dent like model, cardinal temperatures, Cannabis sativa

* Email: tavakolafshari@ferdowsi.um.ac.ir

نقش بسیار اساسی و مهمی را در استقرار گیاهچه در خاک ایفا می کند و در نتیجه می تواند تضمین کننده بقا گیاهچه باشد (Baskin & Baskin, 2001). از این رو توسعه ابزارهایی برای پیش بینی جوانه زنی می تواند باعث بهبود در درک ما از چگونگی بقای گیاهچه شود، این موضوع امری مهم در اکوسیستم های حساسی است که تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و اختلالات طبیعی قرار دارند (Castro *et al.*, 2005; Brudvig & Asbjornsen, 2009); (Dullinger *et al.*, 2004).

شرایط محیطی اطراف بذر عامل مهمی در موفقیت جوانه زنی بذر و استقرار گیاهچه است. عوامل محیطی تنظیم کننده جوانه زنی برای بذرهای بدون کمون شامل دما، آب و اکسیژن می شود و برای بذرهای دارای کمون علاوه بر این عوامل، به نور و محیط های شیمیایی نیاز می باشد (Baskin & Baskin, 2001). در تمام موجودات زنده دما، تعیین کننده سرعت متابولیسم ها و در نتیجه سرعت توسعه می باشد (Olivier & Annandale, 1998). زمانی که رطوبت عامل محدود کننده نباشد، درصد و سرعت جوانه زنی توسط دما کنترل می شود (Heydecker, 1977). دما تاثیر معنی داری را در شروع، پتانسیل و سرعت جوانه زنی دارد (Flores & Briones, 2001). و بدین ترتیب همیشه مهم ترین عامل تعیین موفقیت یا شکست استقرار گیاهچه است (Kader & Jutzi, 2004). گیاهان دارای سه دمای ویژه شامل دمای پایه یا حداقل، دمای مطلوب و دمای حداکثر یا سقف برای جوانه زنی هستند. دمای پایه و حداکثر دماهایی هستند که به ترتیب در دماهای پایین تر و بالاتر از آن دماها، سرعت جوانه زنی صفر است و در واقع جوانه زنی متوقف می شود و دمای مطلوب، دمایی است که در بالاترین سرعت جوانه زنی مشاهده می شود (Alvarado & Bradford, 2002). از آنجایی که درجه حرارت اثرات قابل توجهی بر ویژگی های جوانه زنی از جمله درصد و سرعت جوانه زنی دارد، بنابراین بحرانی ترین عاملی است که موفقیت و عدم موفقیت در استقرار گیاه را تعیین می کند

مقدمه

شاهدانه (*Cannabis sativa*) گیاهی دو پایه و یک ساله است. این گیاه از خانواده کانابیا سیه می باشد و یک کارخانه واقعی تولید کننده متابولیت های ثانویه است. از گیاه شاهدانه استفاده های زیادی در زمینه دارویی می شود. بیش از شصت کانابینوئید در گیاه شاهدانه شناسایی شده است. از کانابینوئیدهای اصلی می توان کانابینول (CBG)، دلتا ۹ تتراهیدروکانابینول (THC)، کانابینول (CBN)، کانابیدیول (CBD)، و کانابیکروم (CBC) را نام برد (Yoshimatsu *et al.*, 2004). از بین این ترکیبات بیشترین اثرات دارویی شناخته شده مربوط به THC می باشد (Croxford & Yamamura, 2005); (Howlett *et al.*, 2004; Guzman, 2003). شاهدانه دارای خواص آرامبخش، مسکن و خواب آور است، همچنین به صورت سنتی در درمان رماتیسم و آسم مورد استفاده قرار می گیرد. از این گیاه در صنعت نساجی برای تهیه الیاف طبیعی نیز استفاده می شود. دانه شاهدانه و همچنین روغن آن به دلیل داشتن مقادیر قابل توجه لیپیدهای امگا ۳ مورد توجه متخصصین علم تغذیه قرار گرفته است (Leizer *et al.*, 2000).

در بحث اهلی سازی و کشت گیاهان دارویی اطلاع از نحوه جوانه زنی بذر به منظور استقرار موفق و مطلوب گیاه ضرورت دارد. بخصوص اینکه اکثر گیاهان دارویی که از عرصه های طبیعی برداشت می شوند، نسبت به گونه های زراعی و اصلاح شده به مدت زمان بیشتری برای جوانه زنی نیاز دارند (Runham., 1998). این امر می تواند ناشی از سرعت جوانه زنی پایین و یا نیازهای اکولوژیکی خاص هر گونه برای جوانه زنی و رشد باشد (Canter *et al.*, 2005).

جوانه زنی بذر یک فرآیند پیچیده زیستی است که تحت تاثیر عامل های مختلف محیطی و ژنتیکی قرار دارد (Shafii & Price, 2001). جوانه زنی و زمان این فرآیند

درون انکوباتور انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. به این منظور در هر پتری دیش ۵۰ عدد بذرسالم و خالص شاهدانه به طور تصادفی از توده بذرها، شمارش شد و با محلول هیپوکلریت سدیم (وایتکس ۱۰ درصد) به مدت دو دقیقه ضدعفونی شد، و پس از شستشو با آب مقطر، در ظروف پتری به قطر ۹ سانتی‌متر، حاوی کاغذ صافی واتمن مرطوب شده، قرار داده شدند، سپس ظروف پتری به انکوباتورهای با دمای مورد نظر انتقال یافتند. به منظور حفظ رطوبت و تبادل حرارتی مناسب، پتری‌ها درون کیسه‌های نایلونی قرار گرفتند. بذرها به طور روزانه بازمینی شد، شمارش بذرهاى جوانه زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش به طور روزانه انجام گرفت و بذرهاى جوانه زده (دارای طول ریشه‌چه ۱-۲ میلی‌متر یا بیشتر) ثبت شد (Adam et al., 2007) و (Brindle et al., 2005). پایان مرحله جوانه‌زنی، زمانی در نظر گرفته شد که تمامی بذرها جوانه زدند و یا چند روز متوالی جوانه‌زنی مشاهده نشد. برای هر تکرار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی نسبت به زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۱۰ (D10)، ۵۰ (D50) و ۹۰ (D90) درصد جوانه‌زنی از طریق درون‌یابی محاسبه شد. همچنین، عکس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی (1/D50)، به عنوان سرعت جوانه‌زنی (GR) در نظر گرفته شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها از برنامه Germin (Soltani & Maddah, 2010) استفاده شد.

به منظور توصیف روابط بین دما و سرعت جوانه‌زنی و برآورد دماهای ویژه (پایه، بهینه و سقف) از مدل‌های رگرسیونی استفاده شد، که در آنها درجه حرارت‌های مختلف به عنوان متغیر مستقل (محور x) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور y) در نظر گرفته شدند. برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما از رابطه زیر استفاده شد (Nadjafi et al., 2009).

$$R50 = f(T) R_{max} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه $f(T)$ تابع دما است که از صفر در دمای

(Al-Ahmadi & Kafi, 2007). دمای بهینه جوانه‌زنی اکثر بذرها بین ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه نیز برای اکثر گونه‌ها بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است (Hejazi, 1994). بنابراین، بذرها در یک دامنه دمایی تعریف شده جوانه می‌زنند و سرعت جوانه‌زنی به دما وابسته است. سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد.

نوعی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده شده است که برخی از محققین از این مدل‌ها برای به دست آوردن دماهای ویژه یعنی دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف استفاده کرده‌اند. در این مدل‌ها بطور عمده از رگرسیون خطی برای توصیف رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌شود (Hardegree, 2006). با توجه به اهمیت دارویی گیاه شاهدانه و عدم وجود اطلاعات کافی راجع به عکس‌العمل جوانه‌زنی بذر شاهدانه نسبت به دما هدف از این تحقیق تعیین دمای ویژه و بررسی واکنش خصوصیات جوانه‌زنی بذر این گیاه به تغییر دمای محیط و دامنه بردباری دمایی جوانه‌زنی بذر آن می‌باشد و با توجه به اینکه جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل در استقرار گیاهچه‌ای گیاهان می‌باشد و اهمیت زیادی در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارد، لذا آگاهی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر این گیاه در پاسخ به تغییرات درجه حرارت می‌تواند مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

بمنظور ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی گیاه دارویی شاهدانه در دماهای مختلف و در نتیجه تعیین دماهای ویژه آن، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد. ارزیابی واکنش جوانه‌زنی در دماهای ثابت ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد تحت فتوپریود ۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۵۰ تا ۶۰ درصد

نرم افزار sigma plot version 12 استفاده شد.

نتایج و بحث

روند تجمعی جوانه زنی در پاسخ به دما، الگوهای متفاوتی را نشان داد که این اختلاف در ۴۸ ساعت اولیه بارزتر بود (شکل ۱). در این بازه زمانی (۴۸ ساعت اولیه) بذرها در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به سرعت جوانه زدند و تقریباً به حداکثر میزان جوانه زنی رسیدند (شکل ۱). در حالی که در همین بازه زمانی، میزان بذر کمتری در دماهای ۳، ۱۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد جوانه زدند. جوانه زنی در دماهای ۳ و ۴۵ درجه سانتی گراد با میزان کمتری شروع شد به گونه ای که پس از گذشت ۷۲ ساعت تنها ۱۰ درصد جوانه زنی در این دماها مشاهده شد. هیچ گونه جوانه زنی در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد انجام نشد. با افزایش دما تا محدوده دماهای بهینه جوانه زنی، متوسط زمان جوانه زنی کاهش و سرعت جوانه زنی افزایش یافت. درصد جوانه زنی تجمعی شاهدانه در برابر زمان نشان داد که جوانه زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با سرعت بیشتری انجام می شود به طوری که پس از گذشت ۲۴ ساعت از پس آبنوشی، درصد جوانه زنی به بیش از ۸۵ درصد رسید (شکل ۱). سرعت جوانه زنی بالاتر بذر، امکان استفاده به موقع از رطوبت خاک و استقرار موفق گیاهچه را فراهم نموده و احتمال بهره برداری بیشتر از شرایط محیطی مثل تابش را برای تولید مواد فتوسنتزی و عملکردهای بالاتر امکان پذیر می نماید. کاهش دما به کمتر از حد مطلوب تاثیر بیشتری را بر مقدار جوانه زنی بذرها داشت و در کل جوانه زنی بذرها شاهدانه پاسخ مناسب تری را به دماهای بالاتر از خود نشان داد. جوانه زنی بذر مجموعه ای از فعل و انفعالات بیوشیمیایی است که بطور عمده به دما و رطوبت بستگی دارند.

پایه و سقف تا ۱ در دمای مطلوب تغییر می کند و Rmax حداکثر سرعت ذاتی جوانه زنی در دمای مطلوب است. توابع دمایی مختلفی برای واکنش جوانه زنی به دما وجود دارند که با استفاده از آن ها می توان دمای ویژه جوانه زنی را محاسبه کرد، در این مطالعه از سه تابع دو تکه ای، بتا و دندان مانند برای تعیین دمای ویژه شاهدانه استفاده شد (Jame & Cutforth, 2004; Hardegree, 2006).

تابع دو تکه ای

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

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

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

تابع بتا

$$f(T) = \left\{ \left[\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right] \left[\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \right] \right\}^a \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

تابع دندان مانند

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

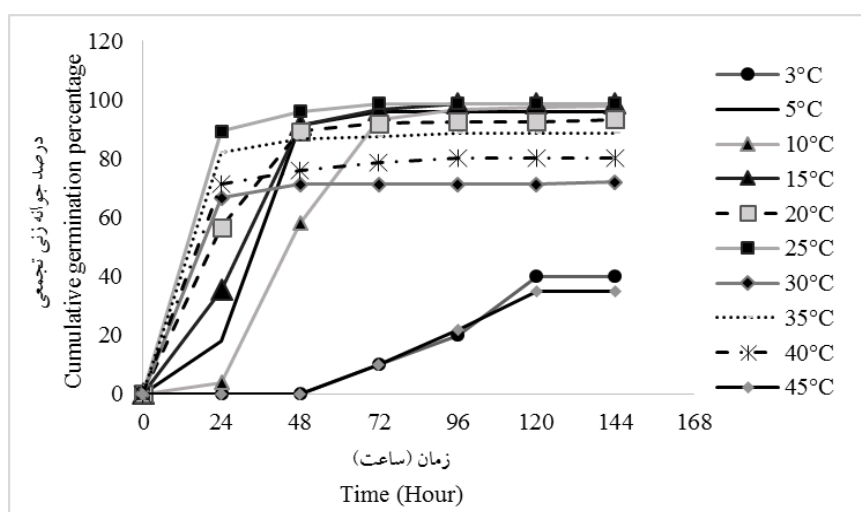
$$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) \quad \text{if } T_b < T < T_{o1}$$

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

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

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

در این توابع T: درجه حرارت (بر حسب سانتی گراد)، T_b ، T_c ، T_{o1} ، T_{o2} و a به ترتیب دمای پایه، دمای بهینه دمای بیشینه، دمای مطلوب پایینی (برای تابع دندان مانند)، دمای مطلوب بالایی (برای تابع دندان مانند) و پارامتر شکل برای تابع بتا است که انحنای تابع را تعیین می کند. دماهای ویژه جوانه زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل های ارائه شده و با استفاده از سرعت جوانه زنی محاسبه شد. محاسبه دماهای ویژه بر اساس رابطه سرعت جوانه زنی و دما، روشی مرسوم در مطالعات مربوط به تعیین دماهای ویژه جوانه زنی به حساب می آید (Bradford, 2002; Colbach et al., 2002). جهت برازش مدل با استفاده از روش های رگرسیونی، از



شکل ۱- درصد جوانه‌زنی تجمعی شاهدانه در برابر زمان در تیمارهای مختلف دمایی

Figure 1- Cumulative germination of *Cannabis sativa* at different temperature

بذرهای شاهدانه شد به طوری که در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد ۴۰ درصد جوانه‌زنی بدست آمد و جوانه‌زنی بذرها در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد متوقف شد (شکل ۲). بررسی‌ها نشان داده است که سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما شاخص حساس‌تری از درصد جوانه‌زنی می‌باشد به نحوی که تا دمای بهینه افزایش یافته و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند به همین دلیل محققین از سرعت جوانه‌زنی که عامل مهم‌تری در استقرار گیاهچه و در نهایت تراکم مناسب پوته در مزرعه است، برای تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذرها استفاده می‌کنند (Hardegee, 2006). در نتایج نجفی و همکاران (Nadjafi et al., 2009) نیز بالاترین درصد جوانه‌زنی در بذر گیاه ماریتیغال به میزان ۷۸ درصد در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و بین درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار گزارش نشد. تبریزی و همکاران (Tabrizi et al., 2004) بیان کردند که به موازات افزایش درجه حرارت از ۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی در گونه اسفرزه شروع به افزایش نمود و در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن با افزایش دما روند کاهشی داشت همچنین در گونه پسلیوم (*Plantago psyllium*) روند افزایش درصد

همانگونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود اثر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر شاهدانه معنی‌دار است. مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف درجه حرارت، نشان داد که بالاترین میزان جوانه‌زنی در دمای ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید. با افزایش دما به بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. (شکل ۲). با افزایش دما از ۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی بذرها به طور معنی‌داری افزایش یافت. در حالی که اختلاف معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی دماهای ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد (شکل ۳). اگرچه سرعت جوانه‌زنی در این محدوده بالا بود و تفاوت معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی بدست آمده در دماهای ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد وجود نداشت، اما درصد جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته بود، درحالی‌که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۹۸/۶ درصد بدست آمد (شکل ۲). با این وجود، بذرهای شاهدانه در دماهای بالاتر نیز توانستند به میزان قابل توجهی جوانه بزنند به گونه‌ای که در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد شاهد ۸۰ درصد جوانه‌زنی در بذرهای شاهدانه بودیم، اما افزایش دما به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی

۲۶ تا ۳۹/۳ و ۳۳ درجه سانتی گراد تخمین زده شد. دمای بیشینه جوانه‌زنی شاهدانه نیز در مدل‌های مختلف متغیر بود و شامل ۴۶، ۴۸ و ۵۰ درجه سانتی گراد به ترتیب در مدل‌های بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای بدست آمد. آماره‌های محاسبه شده برای مدل‌های استفاده شده، شامل ضریب تبیین (R²) و جذر میانگین مربعات خطا بود که معیاری برای سنجش دقت مدل می‌باشند، به گونه‌ای که ضریب تبیین بالاتر و جذر میانگین مربعات خطای کمتر نشان دهنده همبستگی بیشتر مدل با واقعیت است.

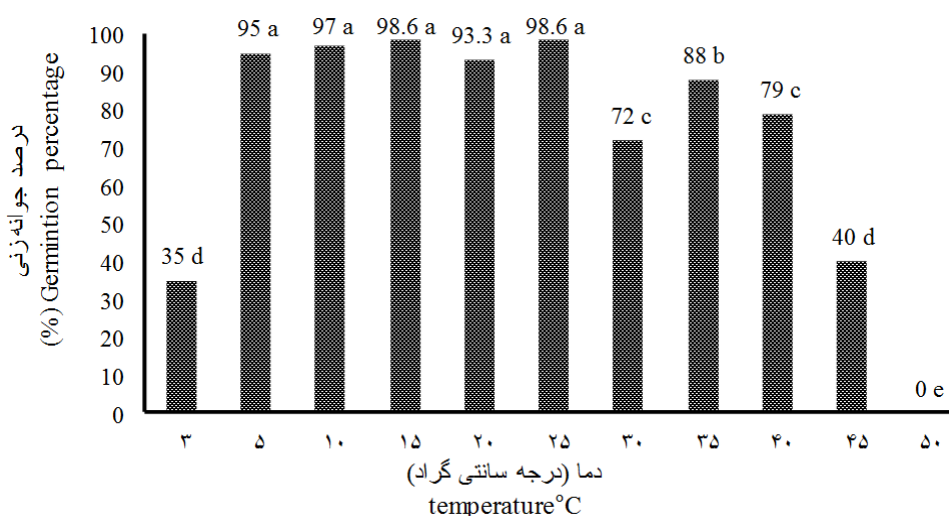
جوانه‌زنی با افزایش دما کندتر بود، بطوری که بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد ملاحظه شد و با افزایش دما در بالاتر از آن، روند کاهشی شد. در جدول ۱ مقادیر دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه بر اساس مدل‌های مختلف نشان داده شده است. بر اساس مدل‌های محاسبه شده، دمای پایه جوانه‌زنی شاهدانه برابر ۱ درجه سانتی گراد می‌باشد و در دمای کمتر از آن قادر به جوانه‌زنی نیست. اما دمای بهینه جوانه‌زنی طبق مدل‌های مختلف، متفاوت است به گونه‌ای که در مدل‌های بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای به ترتیب برابر با ۳۰،

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دما برای برخی خصوصیات جوانه‌زنی شاهدانه در شرایط اعمال دماهای مختلف
Table1- Mean square of Analysis of variance of the effect of temperature on germination characteristics (*Cannabis sativa*)

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی Df | سرعت جوانه‌زنی germination rate | درصد جوانه‌زنی germination percentage |
|----------------------|------------------|------------------------------------|--|
| دما Temperature | 10 | 0.00239** | 3341.26** |
| خطا Error | 22 | 0.000007 | 10.51 |
| کل Total | 32 | - | - |

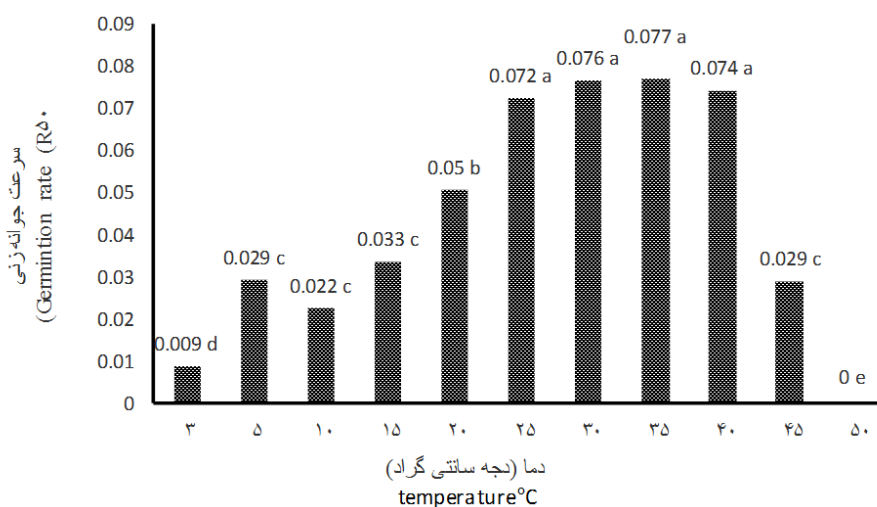
** - significantly different P= 0.01

** - معنی دار در سطح ۱ درصد



شکل ۲- مقایسه میانگین دماهای مختلف برای درصد جوانه‌زنی بذر شاهدانه

Figure2- Mean comparison of temperature treatments for seed germination percentage of Cannabis sativa



شکل ۳ - مقایسه میانگین دماهای مختلف برای سرعت جوانه‌زنی بذر شاهدانه

Figure3- Mean comparison of temperature treatments for seed germination rate of Cannabis sativa

مربوط به آن‌ها رسم شد (شکل ۴). گزارش‌های متعددی از تعیین دمای ویژه جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف با استفاده از این مدل‌ها وجود دارد. جام و کاتفورس (Jame & Cutforth, 2004) از مدل بتا برای تعیین دمای ویژه گندم استفاده کردند و بیان کردند که دمای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی بذر گندم به ترتیب صفر، ۳۰ و ۴۲ درجه سانتی‌گراد است.

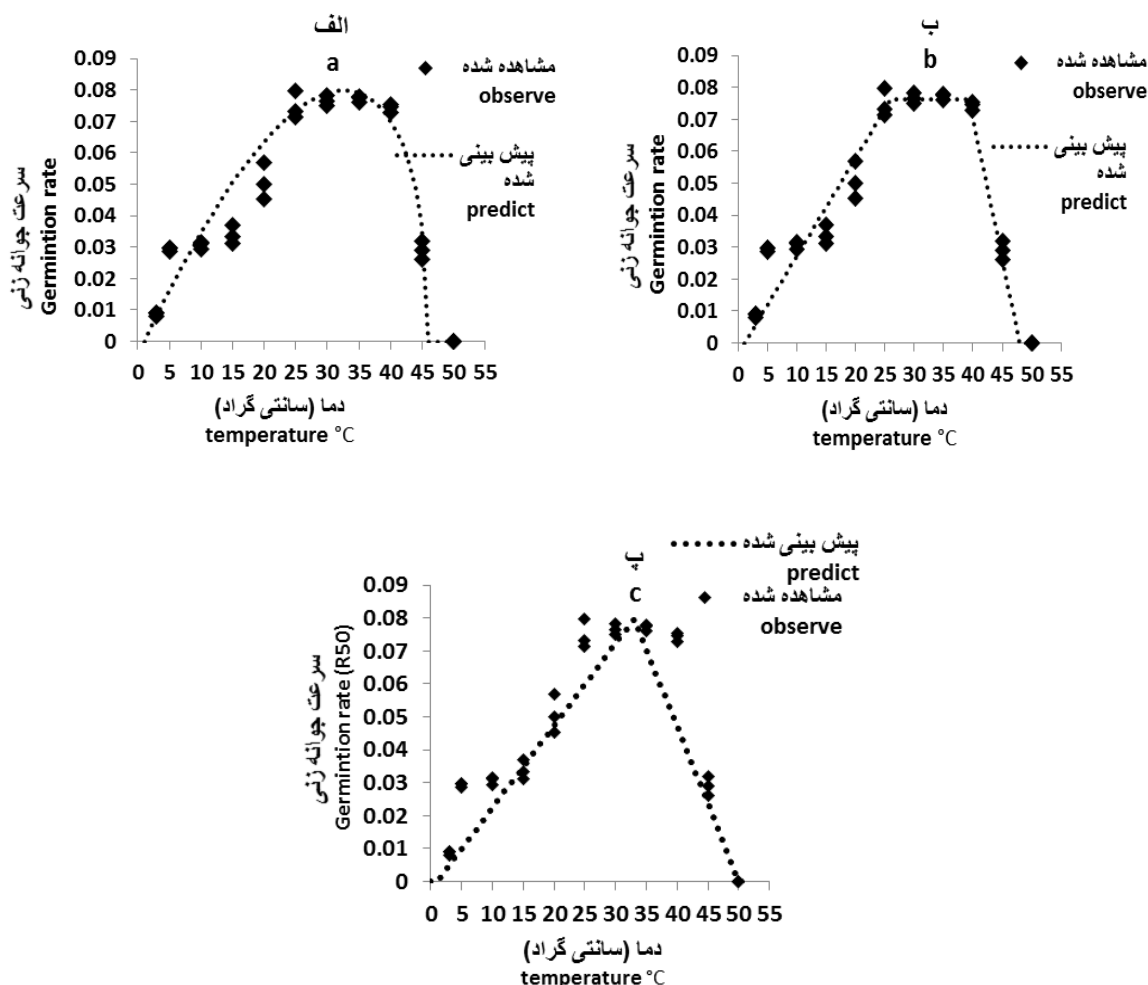
همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است RMSE هر سه مدل پایین می‌باشد، اما در بین سه مدل ارائه شده ضریب تبیین مدل دندان مانند نسبت به سایر مدل‌ها بالاتر است و مقدار آن به ۹۲ درصد رسیده است. بنابراین می‌توان گفت که مدل دندان مانند دقت بالاتری را در تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه دارد (جدول ۲). رابطه‌های حاصل از مدل‌های رگرسیونی محاسبه شده، نیز برآورد و نمودار

جدول ۲- مقادیر پیش‌بینی دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه بر اساس مدل‌های برازش شده

Table2- Estimated parameters for the, beta, Dent like and segmented models

| دمای کاردینال Cardinal temperatures(°C) | مدل بتا Beta model | مدل دندان مانند Dent like model | مدل دو تکه‌ای Segmented model |
|--|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| دمای پایه Base temperature | 1 | 1 | 1 |
| دمای بهینه Optimum temperature | 30 | 26-39.3 | 33 |
| دمای حداکثر Maximum temperature | 46 | 48 | 50 |
| RMSE ^۱ | 0.0026% | 0.002% | 0.003% |
| ضریب تبیین R ² | 0.85 | 0.92 | 0.87 |

^۱ - این شاخص معیاری برای دقت نتایج است و معمولاً هرچه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق (fit) باشد مقدار آن کمتر می‌شود.



شکل ۴- رابطه بین سرعت جوانه زنی (R50) و دما (درجه سانتیگراد) در شاهدانه بر اساس مدل‌های (الف) بتا، (ب) دندان مانند و (پ) دوتکه‌ای
 Figure 4- Relation between Germination Rate (GR), and Temperature in *Cannabis sativa* by using Beta model (a), dent like (b) and segmented model (c)

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج حاصل از این بررسی مشخص شد که بذره‌های شاهدانه قادر به جوانه زنی در محدوده وسیعی از دما هستند، به گونه‌ای که در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز ۴۰ درصد جوانه زنی در بذره‌های شاهدانه مشاهده شد که این امر نشان دهنده تحمل بالای جوانه زنی شاهدانه به دماهای مختلف است. با توجه به نتایج حاصل از برآورد مدل‌های مختلف و سنجش این مدل‌ها مشخص شد که

در بررسی دیگر، دمای پایه، بهینه و بیشینه خرفه را به ترتیب ۱۱/۸، ۳۵ و ۴۹/۳ درجه سانتی‌گراد، برای سلمه تره (*Chenopodium album*) به ترتیب، ۴/۲، ۲۹/۵ و ۴۳/۳ درجه سانتی‌گراد و برای علف خرچنگ به ترتیب ۱۴/۱۶، ۲۵/۶ و ۴۱/۳ تعیین شد (Poor toosi et al., 2009). پوررضا و بحرانی (Pourreza & Bahrani, 2012) با استفاده از مدل دوتکه‌ای دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه زنی بذر ماریتیغال را به ترتیب ۱/۳، ۲۰/۵ و ۴۱/۸ درجه سانتی‌گراد اعلام کردند.

می‌تواند عامل مهمی در موفقیت کشت آن در اقلیم‌های مختلف باشد که برای تایید این موضوع، باید سایر خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی آن نیز در شرایط مختلف دمایی مورد بررسی قرار گیرد.

مدل دندان مانند تخمین بهتری را از تعیین دمای ویژه جوانه‌زنی شاهدانه بدست می‌دهد و طبق این مدل دمای پایه، بهینه و بیشینه جوانه‌زنی شاهدانه به ترتیب برابر ۱، ۲۶-۳۹/۳ و ۴۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. قابلیت جوانه‌زنی مناسب این گیاه در محدوده حرارتی وسیع،

Reference

منابع

- Adam, N. R., D. A. Dierig., T. A. Coffelt., M. J. Wintermeyer., B. E. Mackey., and G. W. Wall. 2007.** Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. *Indus. Crops and Products*, 25: 24- 33.
- Al-Ahmadi, M.J., and M. Kafi. 2007.** Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). *J. Arid Environ.*, 68(2), 308-314. (In Persian, with English Abstract).
- Alvarado, V., and K. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell & Environ.*, 25(8), 1061-1069.
- Baskin, C.C., and J.M. Baskin. 1998.** *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination.* Elsevier.
- Bradford, K.J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci*, 50(2), 248-260.
- Brindle, M., and K. Jensen. 2005.** Effect of temperature on dormancy and germination of *Eupatorium L.* achenes. *Seed Sci Res*, 15: 143-151.
- Brudvig, L.A., and H. Asbjornsen. 2009.** Dynamics and determinants of *Quercus alba* seedling success following savanna encroachment and restoration. *Forest eco and manage*, 257(3), 876-884.
- Canter, P.H., H. Thomas., and E. Ernst. 2005.** Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *TRENDS in Biotechnol*, 23(4), 180-185.
- Castro, J., R.Zamora., J.A. Hodar., and J.Gómez. 2005.** Ecology of seed germination of *Pinus sylvestris L.* at its southern, Mediterranean distribution range. *Forest Syst*, 14(2), 143-152.
- Colbach, N., B Chauvel., C. Dürr., and G. Richard. 2002.** Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. *Weed Res*, 42(3), 210-221.
- Croxford, J.L., and T. Yamamura. 2005.** Cannabinoids and the immune system: potential for the treatment of inflammatory diseases. *J. neuroimmunology*, 166(1), 3-18.
- Dullinger, S., T. Dirnböck., and G. Grabherr. 2004.** Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. *J. ecol.* 92(2), 241-252.
- Flores, J., and O. Briones. 2001.** Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *J. Arid Environ*, 47(4), 485-497.
- Guzman, M. 2003.** Cannabinoids: potential anticancer agents. *Nature Reviews Cancer*, 3(10), 745-755.
- Hardegree, S.P. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann of Bot*, 97(6), 1115-1125.
- Hejazi, A. 1994.** *Seed technology.* Publ Univ of Tehran. 441pp.
- Heydecker, W. 1977.** Stress and seed germination: an agronomic view. *Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination.*
- Howlett, A.C., C.S. Breivogel., S.R. Childers., S.A. Deadwyler., R.E. Hampson., And L.J. Porrino. 2004.** Cannabinoid physiology and pharmacology: 30 years of progress. *Neuropharmacology*, 47, 345-358.

- Jame, Y., and H. Cutforth. 2004.** Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agric and Forest Meteorol*, 124(3), 207-218.
- Kader, M., and S. Jutzi. 2004.** Effects of thermal and salt treatments during imbibition on germination and seedling growth of sorghum at 42/19 C. *J. Agron and Crop Sci*, 190(1), 35-38.
- Leizer, C., D. Ribnicky., A. Poulev., S. Dushenkov., I. Raskin. 2000.** The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *J. Nutraceuticals Functional and Medical Foods*, 2(4), 35-54.
- Nadjafi, F., L.Tabrizi., J. Shabahang., and A.M. Damghani. 2009.** Cardinal germination temperatures of some medicinal plant species. *Seed Technol*, 156-163.
- Olivier, F., J. Annandale. 1998.** Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Res*, 56(3), 301-307.
- Poortosi, N., M. Rashed Mohasel., and I. Izadi Darbandi. 2007.** Determine the cardinal temperatures germination of (*Portulaca oleracea*, *Portulaca oleracea* and *Digitaria sanguinalis*). *Journal of Agricultural Research*. 6: 255-261. (In Persian, with English Abstract).
- Pourreza, J., Bahrani, A. 2012.** Estimating cardinal temperatures of milk thistle (*Silybum marianum*) seed germination. *Am Eur J Agric Environ Sci*, 12, 1485-1489.
- Shafii, B., Price, W.J. 2001.** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *J. Agric, biol, and environ statistics*, 6(3), 356-366.
- Tabrizi, L., M. Nasiri Mahalati., and A. Kochaki. 2004.** Investigations on the cardinal temperatures for germination of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. *J. Agric Res*. 2: 143-151. (In Persian, with English Abstract).
- Yoshimatsu, K., O. Iida., T. Kitazawa., T. Sekine., M. Kojoma., Y. Makino., and F. Kiuchi. 2004.** Growth characteristics of *Cannabis sativa* L. cultivated in a phytotron and in the field. *Bull on Nat Inst of Health Sci*, 122, 16-20.