"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد هفتم، شماره ۱، بهار و تابستان ۹۷
(ص ۱۳۶-۱۲۷)

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 7, No.: 1, Spring and Summer 2018
(pp: 127-136)
DOI: 10.22034/ijsst.2018.108012.1010

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 اگروتکنولوژی، 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 کاملا تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی واکنش جوانه‌زنی در دماهای ثابت۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ 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 دوتکه‌ای، بتا و دندان مانند ترسیم شد. نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی بذرها به طور معنی داری افزایش یافت، در حالی که اختلاف معنی داری 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، ۳۹/۳-۲۶ و ۴۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

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

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

Sh. Barooti[1], R. Tavakkol Afshari[2*] and N. Majnon hoseini[3], A. Hashemi[4]

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 45ºC) 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

مقدمه

شاهدانه (*Cannabis sativa*) گیاهی دو پایه و یک‌ساله است. این گیاه از خانواده کانابیاسه می‌باشد و یک کارخانه واقعی تولیدکننده متابولیت‌های ثانویه است. از گیاه شاهدانه استفاده‌های زیادی در زمینه دارویی می‌شود. بیش از شصت کانابینوئید در گیاه شاهدانه شناسایی شده است. از کانابینوئیدهای اصلی می‌توان کانابیجرول (CBG)، دلتا ۹تتراهیدروکانابینول (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 می‌باشد (Croxford & Yamamura, 2005 ; ; Howlett *et al*., 2004Guzman, 2003). شاهدانه دارای خواص آرامبخش، مسکن و خواب آور است، همچنین به صورت سنتی در درمان رماتیسم و آسم مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این گیاه در صنعت نساجی برای تهیه الیاف طبیعی نیز استفاده می‌شود. 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 وکشت گیاهان دارویی اطلاع از نحوه جوانه‌زنی بذر به منظور استقرار موفق و مطلوب گیاه ضرورت دارد. بخصوص اینکه اکثر گیاهان دارویی که ازعرصه های طبیعی برداشت می شوند، نسبت به گونه های زراعی واصلاح شده به مدت زمان بیشتری برای جوانه‌زنی نیاز دارند (Runham., 1998). این امر می‌تواند ناشی از سرعت جوانه‌زنی پایین و یا نیازهای اکولوژیکی خاص هر گونه برای جوانه‌زنی و رشد باشد (Canter *et al*., 2005).

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند پیچیده زیستی است که تحت تاثیر عامل‌های مختلف محیطی و ژنتیکی قرار دارد (Shafii & Price, 2001). جوانه‌زنی و زمان این فرایند نقش بسیار اساسی و مهمی را در استقرار گیاهچه در خاک ایفا می‌کند و در نتیجه می‌تواند تضمین کننده بقا گیاهچه باشد (Baskin & Baskin, 2001). از این رو توسعه ابزارهایی برای پیش بینی جوانه‌زنی می‌تواند 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*., 2005Brudvig & Asbjornsen, 2009 ;; Dullinger *et al*., 2004).

شرایط محیطی اطراف بذر عامل مهمی در موفقیت جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه است. عوامل محیطی تنظیم کننده جوانه‌زنی برای بذرهای بدون کمون شامل دما، آب و اکسیژن می‌شود و برای بذرهای دارای کمون علاوه بر این عوامل، به نور و محیط های شیمیایی نیاز می‌باشد (Baskin & Baskin, 2001). در تمام موجودات زنده دما، تعیین کننده سرعت متابولیسم‌ها و در نتیجه سرعت توسعه می‌باشد (Olivier & Annandale, 1998). زمانی که رطوبت عامل محدود کننده نباشد، درصد و سرعت جوانه‌زنی توسط دما کنترل می‌شود (Heydecker, 1977). دما تاثیر معنی داری را در شروع، پتانسیل و سرعت جوانه‌زنی دارد (Flores & Briones, 2001). و بدین ترتیب همیشه مهم‌ترین 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 جوانه‌زنی هستند. دمای پایه و حداکثر دماهایی هستند که به ترتیب در دماهای پایین تر و بالاتر از آن دماها، سرعت جوانه‌زنی صفر است و در واقع جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای مطلوب، دمایی است که در بالاترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده می‌شود (Alvarado & Bradford, 2002). از آنجایی که درجه حرارت اثرات قابل توجهی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی دارد، بنابراین بحرانی‌ترین عاملی است که موفقیت و عدم موفقیت در استقرار گیاه را تعیین می‌کند

(Al-Ahmadi & Kafi, 2007). دمای بهینه جوانه‌زنی اکثر بذرها بین ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه نیز برای اکثر گونه ها 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 بحرانی ترین 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 درنتیجه 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 درون انکوباتور انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملا 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 ازشستشو با آب مقطر، در ظروف پتری به قطر۹ 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، پتری ها درون کیسه های نایلونی قرار گرفتند. بذرها به طور روزانه بازبینی شد، شمارش بذرهای جوانه زده ۲۴ ساعت پس از شروع آزمایش به طور روزانه انجام گرفت و بذرهای جوانه زده (دارای طول ریشه‌چه ۲-۱ 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 درون یابی 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) ازمدل‌های رگرسیونی استفاده شد، که در آنها درجه حرارت‌های مختلف به عنوان متغیر مستقل (محور x) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محورy) در نظرگرفته شدند. برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما از رابطه زیر استفاده شد (Nadjafi *et al*., 2009).

$$R50 = f(T)\, Rmax \qquad \text{رابطه ۱}$$

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

پایه و سقف تا ۱ در دمای مطلوب تغییر می‌کند و Rmax حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی در دمای مطلوب است. توابع دمایی مختلفی برای واکنش جوانه‌زنی به دما وجود دارند که با استفاده از آن‌ها می‌توان دمای ویژه جوانه‌زنی را محاسبه کرد، در این مطالعه از سه تابع دوتکه‌ای، بتا و دندان مانند برای تعیین دمای ویژه شاهدانه استفاده شد (Hardegree, 2006; Jame & Cutforth, 2004).

تابع دو تکه‌ای

$f(T) = (T - Tb) / (To - Tb)$ if $Tb < T \leq To$

$f(T) = (Tc - T) / (Tc - To)$ if $To < T < Tc$

$f(T) = 0$ if $T \leq Tb$ or $T \geq Tc$

تابع بتا

$$f(T) = \left\{ \left[\left(\frac{(T - Tb)}{(To - Tb)}\right)\left(\frac{(Tc - T)}{(Tc - To)}\right) \right]^{\left((Tc - To)/(To - Tb)\right)} \right\}^{a}$$

$$if \quad T \leq Tb \ or \ T \geq Tc$$

تابع دندان مانند

$f(T) = 0$ if $T \leq Tb$ or $T \geq Tc$

$f(T) = (T - Tb) / (To1 - Tb)$ if $Tb < T < To1$

$f(T) = (Tc - T) / (Tc - To2)$ if $To2 < T < Tc$

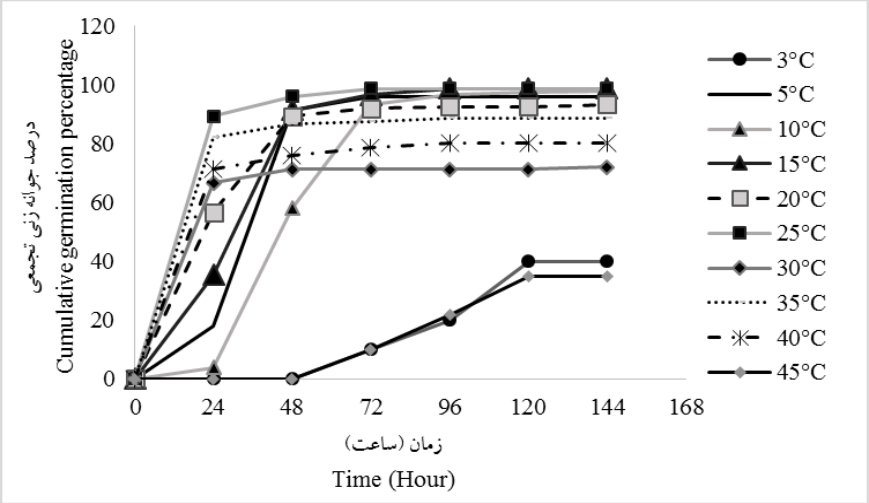
$f(T) = 1$ if $To1 < T < To2$

$f(T) = 0$ if $T \leq Tb$ or $T \geq Tc$

در این توابع T: درجه حرارت (بر حسب سانتی‌گراد)، Tb، To، Tc، To1، To2 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 می‌کند. دماهای ویژه جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه شده و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. محاسبه دماهای ویژه بر اساس رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما، روشی مرسوم در مطالعات مربوط به تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی به حساب می‌آید (Bradford, 2002; Colbach *et al.*, 2002). جهت برازش مدل با استفاده ازروش‌های رگرسیونی، از نرم‌افزار sigmaplot version 12 استفاده شد.

نتایج و بحث

روند تجمعی جوانه‌زنی در پاسخ به دما، الگوهای متفاوتی را نشان داد که این اختلاف در ۴۸ ساعت اولیه بارزتر بود (شکل ۱ **Error! Reference source not found.**). در این بازه زمانی (۴۸ ساعت اولیه) بذرها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به سرعت جوانه زدند و تقریبا به حداکثر میزان جوانه‌زنی رسیدند (شکل ۱). در حالی که در همین بازه زمانی، میزان بذر کمتری در دماهای ۳، ۱۰، ۳۵، ۳۰، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی جوانه زدند. جوانه‌زنی در دماهای ۳ و۴۵ درجه سانتی‌گراد با میزان کمتری شروع شد به گونه‌ای که پس از گذشت ۷۲ ساعت تنها ۱۰ درصد جوانه‌زنی در این دماها مشاهده شد.هیچ گونه جوانه‌زنی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد انجان نشد. با افزایش دما تا محدوده دماهای بهینه جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی کاهش و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. درصدجوانه‌زنی تجمعی شاهدانه در برابر زمان نشان داد که جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت بیشتری انجام می‌شود به طوری که پس از گذشت ۲۴ ساعت از پس آبنوشی، درصد جوانه‌زنی به بیش از ۸۵ درصد رسید (شکل ۱). سرعت جوانه‌زنی 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 می‌نماید. کاهش دما به کمتر از حد مطلوب تاثیر بیشتری را بر مقدار جوانه‌زنی بذرها داشت و در کل جوانه‌زنی بذرهای شاهدانه پاسخ مناسب‌تری را به دماهای بالاتر از خود نشان داد. جوانه‌زنی بذر مجموعه‌ای از فعل و انفعالات بیوشیمیایی است که بطور عمده به دما و رطوبت بستگی دارند.



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

Figure1- Cumulative germination of *Cannabis sativa* at different temperature

همانگونه که در جدول ۱ ملاحظه می شود اثر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر شاهدانه معنی دار 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 معنی داری افزایش یافت. در حالی که اختلاف معنی داری در سرعت جوانه‌زنی دماهای ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد (شکل ۳). اگرچه سرعت جوانه‌زنی در این محدوده بالا بود و تفاوت معنی داری 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 بالا 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 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 بوته در مزرعه است، برای تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذرها استفاده می‌کنند (Hardegree, 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 معنی دار گزارش نشد. تبریزی و همکاران (Tabrizi *et al.*, 2004) بیان کردند که 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 پسیلیوم (*Plantago psyllium*) روند افزایش درصد

جوانه‌زنی با افزایش دما کندتر بود، بطوری که بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد 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 سانتی‌گراد 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، ۲۶ تا ۳۹/۳ و ۳۳ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد. دمای بیشینه جوانه‌زنی شاهدانه نیز در مدل‌های مختلف متغیر بود و شامل ۴۶، ۴۸ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد 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.

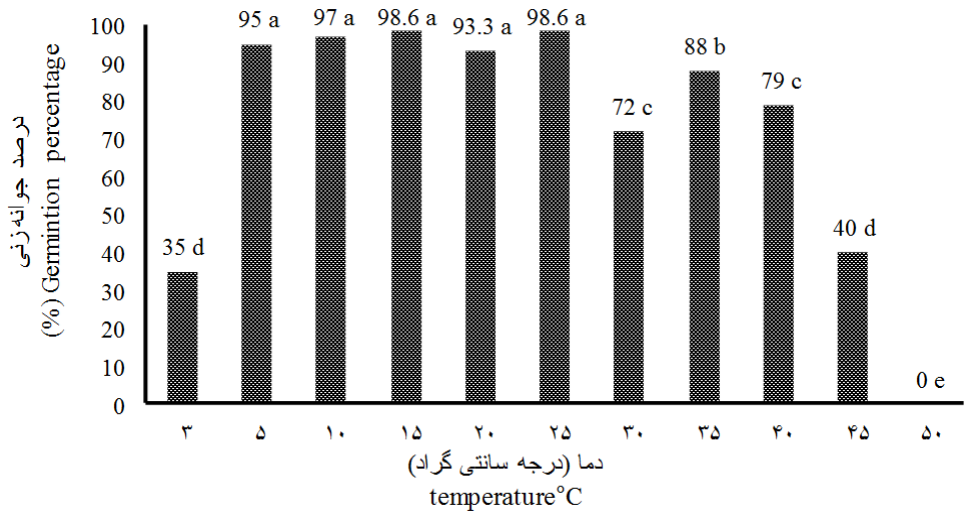
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دما برای برخی خصوصیات جوانه‌زنی شاهدانه در شرایط اعمال دماهای مختلف

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	-	-

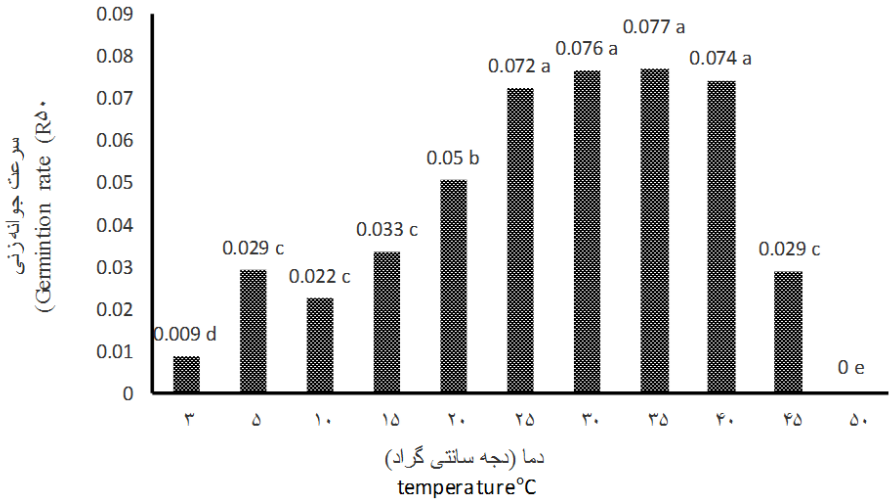
**- معنی دار درسطح ۱ درصد

**- significantly different P= 0.01



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*

همان طور 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. بنابرین می‌توان گفت که مدل دندان مانند دقت بالاتری را در تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه دارد (جدول ۲). رابطه های حاصل از مدل‌های رگرسیونی محاسبه شده، نیز برآورد و نمودار مربوط به آن ها رسم شد (شکل ۴). گزارش های 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 سانتی گراد است.

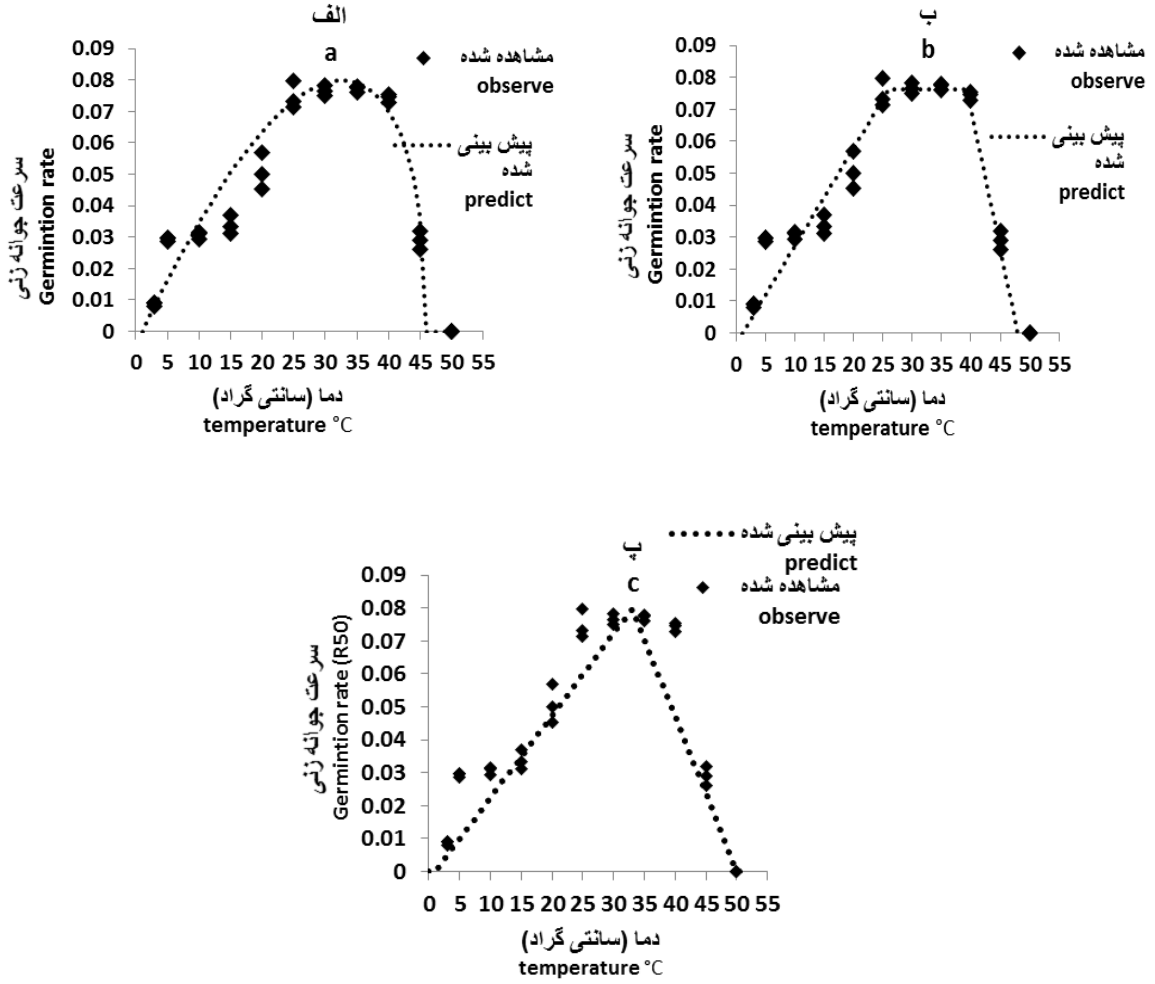
جدول ۲- مقادیر پیش بینی دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر شاهدانه بر اساس مدل‌های برازش شده

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 دوتکه‌ای 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[1]	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 معمولا هرچه مدل بهتر بر داده ها منطبق (fit) باشد مقدار آن کمتر می‌شود.

1. Root Mean Square Error



شکل ۴- رابطه بین سرعت جوانه‌زنی (R50) و دما (درجه سانتیگراد) در شاهدانه بر اساس مدل‌های (الف) بتا، (ب) دندان مانند و (پ) دوتکه‌ای

Figure4- Relation between Germination Rate (GR), and Temperature in *Cannabis sativa* by using Beta model (a), dent like (b) and segmented model (c)

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 جوانه‌زنی بذر ماریتیغال را به ترتیب ۱/۳، ۲۰/۵ و ۴۱/۸ درجه سانتی‌گراد اعلام کردند.

نتیجه گیری کلی

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

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، ۳۹/۳-۲۶ و ۴۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. قابلیت جوانه‌زنی مناسب این گیاه در محدوده حرارتی وسیع، می‌تواند عامل مهمی در موفقیت کشت آن در اقلیم های مختلف باشد که برای تایید این موضوع، باید سایر خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی آن نیز در شرایط مختلف دمایی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع Reference

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. ..f 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 sangunalis). 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.