

کمی سازی دمای کاردینال و مدل هیدروتایم جوان زنی بذور زیره سبز (*Cuminum cyminum*)

علی عبادی^{۱*}، قاسم پرمون^۲، فاطمه احمدنیا^۳، محمد گودرزی^۳، صغری قهرمانی^۲

۱. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸)

چکیده

به منظور تعیین دمای کاردینال و آستانه نیاز رطوبتی (مدل هیدروتایم) بذر زیره سبز، دو آزمایش مجزا، به صورت کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. در آزمایش اول، تیمارهای آزمایشی شامل دماهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد و در آزمایش دوم تیمارها شامل، پتانسیل پایه ۰، ۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، -۰/۸، -۱ و -۱/۲ - مگاپاسکال بود. به منظور برآورد دماهای کاردینال مورد نیاز برای کسرهای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه زنی از چهار مدل بتا، بتای اصلاح شده، دندانه‌ای و دو تکه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. از شاخص‌های مختلف آماری مانند ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و شاخص آکانیک (AICc) برای مقایسه بین مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد مدل بتا نسبت به سایر مدل‌ها واکنش سرعت جوانه زنی (به جز ۱۰ درصد جوانه زنی) زیره سبز به دما را بهتر توصیف کرد، همچنین دمایی کمینه جوانه زنی زیره سبز بین ۰/۷ تا ۰/۹۰ سانتی گراد، دمای بهینه بین محدوده ۲۰ تا ۲۱ درجه سانتی گراد و دمایی پیشینه ۳۵ درجه برآورد شد. همچنین نتایج مدل هیدروتایم نشان داد، ضریب هیدروتایم بذر زیره ۹۷/۵ مگاپاسکال ساعت، آستانه تحمل به تنش -۰/۴۶ مگاپاسکال تخمین زده شد.

واژه‌های کلیدی: زیره سبز، مدل هیدروتایم، دما، درصد جوانه زنی، مدل بتا

Quantifying cardinal temperature and hydro time germination of *Cuminum cyminum* seeds

A. Ebadi^{1*}, Gh. Parmoon², F. Ahmadnia³, M. Godarzy³, S. Ghahrmany²

1. Professor, Department Agronomy and Plant Breeding, Faculty Agriculture and Nature Resource, University of Mohaghegh Ardabili

2. PhD student, Department Agronomy and Plant Breeding, Faculty Agriculture and Nature Resource, University of Mohaghegh Ardabili

3. Masters student, Department Agronomy and Plant Breeding, Faculty Agriculture and Nature Resource, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: Oct. 23, 2018 – Accepted: May. 08, 2019)

Abstract

In order to quantify the cardinal temperature and hydro time germination of *Cuminum cyminum* seeds, two experiments were conducted in complete randomized design with three replications in seed technology laboratory of Faculty of Agriculture and Natural Resource of University of Mohaghegh Ardabili in 2018. In the first experiment, treatments were included: temperatures, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C and in second experiment treatment water base potentials included: 0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1 and -1.2 MPa. In order to quantifying cardinal temperature for germination fraction for 10, 50 and 90 % were evaluated from four models: beta, modified beta, dent-like and segmented. In this study the RMSE, R^2 and AICc were used for comparison between models. Result indicted that beta described better responses of germination rate (except D10) of *Cuminum cyminum* to temperature compared with others models. However basic temperature of *Cuminum cyminum* was between 0.7 to 0.9 °C, optimum temperature about 20 to 21 °C and maximum temperature was 35 °C. In addition based on result of hydro time models, θH , and Ψb (50) for *Cuminum cyminum* were estimated 97.5 MPa h⁻¹ and -0.46 MPa respectively.

Keywords: *Cuminum cyminum*, hydrotime model, temperature, germination percentage, beta model.

* Email: ebadi_ali2000@yahoo.com

مقدمه

نامساعد را بهتر تحمل کرده، تداوم نسل و بقای گونه گیاهی تضمین می‌گردد (Akramian et al., 2006).

تأثیر دما بر روی بذر شامل رفع خواب بذر و همچنین تغییر در سرعت جوانه‌زنی بذرهای بدون خفتگی می‌باشد. دما نه تنها بر درصد جوانه‌زنی بلکه بر سرعت جوانه‌زنی بذر تأثیرگذار است (Riems et al., 2004). دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم خواب بر ظرفیت جوانه‌زنی و همچنین بر سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار است (Kebreab and Murdoch, 1999). حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنه‌های خاصی از دماها رخ می‌دهد و در پایین تر و بالاتر از این دامنه دمایی درصد جوانه‌زنی به طور ناگهانی کاهش می‌یابد (Kebreab and Murdoch, 1999). بذور دارای سه دمای کاردینال 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، جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای مطلوب، دمایی است که در آن مراحل جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین زمان ممکن (حداکثر سرعت جوانه‌زنی) اتفاق بیافتد (Alvarado and Bradford, 2002). 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. دلایل مختلفی برای کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از مطلوب ارائه شده است. برادفورد و استیل (Bradford and Still, 2004) پیشنهاد داد که در دماهای بالاتر از مطلوب، تاخوردگی پروتئین‌ها، اختلال در غشاءها و اثرات متقابل با تنش خشکی وجود دارد (Thygerson et al., 2002).

علاوه بر دما، پتانسیل آب خاک نیز یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی می‌باشد که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه گیاهان تأثیر می‌گذارد (Anda and Pinter, 1994). توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را در پی دارد که در نتیجه منجر

امروزه تحقیقات گسترده‌ای بر روی گیاهان دارویی صورت گرفته است و داروهایی با ماده مؤثره‌ی طبیعی افق‌های جدیدی را برای جامعه پزشکان و داروسازان گشوده است. به طوریکه در حال حاضر حدود یک سوم داروهای مورد استفاده در جوامع انسانی را داروهایی با منشأ طبیعی و گیاهی تشکیل می‌دهند (Dubey et al., 2004). زیره سبز (*Cuminum Cyminum*) گیاهی یک‌ساله، علفی، عمدتاً خودگشن که در استان‌های خراسان، سمنان، یزد، آذربایجان شرقی، اصفهان، سیستان و بلوچستان، کرمان، مرکزی و گلستان به صورت دیم و آبی کشت می‌شود (Hashem Nia et al., 2005). محصول زیره سبز دارای ارزش اقتصادی بالایی بوده و صادرات آن می‌تواند ارزیابی مناسبی را داشته باشد. مهم‌ترین ترکیبات اسانس این گیاه شامل: مونوترپن‌های گاماترپینن، کومین آلدئید و پاراسمین و همچنین لیمونن، پاراسمین و میرسن می‌باشد (Pourmortazavet et al., 2005).

جوانه‌زنی فرآیندی فیزیولوژیکی است که از رشد ریشه‌چه آغاز شده و با نفوذ ریشه‌چه به داخل بافت‌های پوششی بذر کامل می‌شود؛ بنابراین زمان جوانه‌زنی حد فاصل بین ورود آب به داخل بذر تا خروج بافت ریشه‌چه از پوسته بذر می‌باشد (Bradford, 2002). مرحله جوانه‌زنی بذر در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح اهمیت زیادی دارد و تراکم کافی بوته در واحد سطح زمانی بدست می‌آید که بذرها کاشته شده به طور کامل و با سرعت کافی جوانه بزنند. یکی از موانع عمده استفاده بهینه از گیاهان دارویی در خارج از رویشگاه طبیعی، محدودی میزان جوانه‌زنی و طولانی بودن خواب بذرها می‌باشد (Gupta, 2003). طی دوره خواب حتی اگر شرایط مناسب محیطی نیز فراهم باشد، جوانه‌زنی صورت نمی‌گیرد. این امر در شرایط نامساعد رویشی سودمند است، زیرا بذرها غیر فعال است و در نتیجه بسیاری از تنش‌های محیطی و شرایط

به افزایش عملکرد می شود به طور معمول سرعت جوانه زنی به طور خطی به قابلیت دسترسی به آب افزایش می یابد (Guerke *et al.*, 2004) و درصد جوانه زنی با کاهش پتانسیل آب کاهش می یابد (Grundy *et al.*, 2000). بویداک و همکاران (Boydak *et al.*, 2003) با اعمال ۵ سطح تنش خشکی بر بذر گونه *Pinus brutia* نشان دادند که با کاهش پتانسیل آب کاهش چشمگیری در درصد جوانه زنی، سرعت و میزان جوانه زنی به وجود می آید. تیلکا و دریک (Tilki and Dirik, 2007) سه گونه کاج *Pinus brutia* را در معرض دو تیمار دمایی ۱۵ و ۲۱ درجه سانتی گراد و دو تنش خشکی ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال قرار دادند. طبق نتایج آنها به طور کلی جوانه زنی در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد کمتر از دمای ۲۱ درجه سانتی گراد بود و همچنین با کاهش در پتانسیل اسمزی جوانه زنی روندی نزولی پیدا کرد. با توجه به اهمیت گیاه دارویی زیره سبز و با توجه به نقش دما و رطوبت در جوانه زنی، هدف از این مطالعه تعیین دمایی کاردینال و آستانه نیاز رطوبتی بذور زیره سبز بود.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. برای بررسی دمای بهینه جوانه زنی از دماهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد و برای تعیین پتانسیل پایه از پتانسیل های ۰، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال (با استفاده از پلی اتیلن گلاکول ۶۰۰۰) بصورت دو آزمایش جداگانه استفاده شد (Michel., 1983).

بذرهای مورده استفاده در این مطالعه از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شد. بذور در ابتدا با هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۱ دقیقه ضد عفونی شده و بعد از آن به داخل پتری دیش های ۹ سانتی متری دارای دو لایه

کاغذ صافی (در آزمایش دمای کاردینال) و بدون کاغذ صافی در آزمایش زمان رطوبتی قرار داده شده و به هر کدام ۵ میلی لیتر آب مقطر در آزمایش دمای کاردینال و ۵ میلی لیتر محلول پلی اتیلن گلاکول در آزمایش زمان رطوبتی اضافه و سپس به ژرمیناتور با دماهای مورد نظر منتقل شدند. دمای مورد استفاده در آزمایش تنش رطوبتی ۲۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. شمارش جوانه زنی به صورت روزانه تا ۱۴ روز ادامه یافته و بعد از پایان دوره جوانه زنی طول ریشه چه و ساقه چه اندازه گیری شد. به منظور مدل سازی دمای کاردینال بعد از محاسبه متوسط زمان لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه زنی با استفاده از جرمین از آن ها برای مدل کاردینال استفاده شد (Soltani *et al.*, 2002). در برنامه جرمین پارامترهای یادشده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون یابی منحنی افزایش جوانه زنی در مقابل زمان محاسبه می کند. مدت زمان رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه زنی نیز بر اساس فرمول زیر محاسبه شد. در این رابط N جوانه زنی نهایی و n_i و n_j نیز تعداد بذور جوانه زده در مدت زمان $t_j - t_i$ می باشد (Coolbear, 1984).

$$D_{10, 50, 90} = t_i + [(N/2 - n_i) (t_j - t_i)] / (n_j - n_i)$$

جهت تعیین دمای کاردینال بذور زیره از چهار مدل بتا، بتا اصلاح شده، دندانه ای و دو تیکه که روابط آنها در جدول ۱ آمده است استفاده شد (Parmoon *et al.*, 2015). برای برازش این مدل ها از نرم افزار سیگما پلات ۱۱ استفاده شد. برای تعیین مدل از ضریب تبیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد. برای برآورد ضریب زمان رطوبتی از معادلات زیر استفاده شد (Bradford and Somasco, 1994):

$$\theta H = (\Psi - \Psi_b(g)) \times t_g$$

که در این معادله θH ضریب زمان رطوبتی بر حسب مگاپاسکال ساعت؛ Ψ پتانسیل آب بر حسب مگاپاسکال؛ $\Psi_b(g)$ پتانسیل آب پایه برای صدک g جوانه زنی بر حسب مگاپاسکال؛ t_g زمان جوانه زنی g درصد از بذور بر حسب

ساعت را نشان می‌دهند. با باز نویسی معادله بالا رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Psi b(g) = \Psi - \frac{\theta H}{tg}$$

بر اساس مدل زمان رطوبتی بالا، در یک جمعیت بذری سرعت جوانه زنی (۱/t) برای صدک‌های مختلف جوانه زنی (g) با پتانسیل آب (Ψ) رابطه خطی دارد که در

این معادله شیب خط برابر معکوس ضریب زمان رطوبتی و عرض از مبدا خط برابر منفی نسبت پتانسیل پایه بر ضریب زمان رطوبتی می‌باشد. با توجه به ثابت بودن ضریب زمان رطوبتی در یک توده بذری، عاملی که باعث تغییر سرعت جوانه زنی برای صدک‌های مختلف یک توده بذری می‌شود، تفاوت پتانسیل آب پایه بذور در آن توده بذری است (Dahal and Bradford, 1990).

جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده برای ترمال تایم

Table 1- modeles used for thermal time.

رابطه Equation	مدل Model
$f(T) = (T - T_b)/(T_o - T_b) \quad \text{if } T_b < T < T_o$ $f(T) = 1 - \left(\frac{T - T_o}{T_c - T_o}\right) \quad \text{if } T_o \leq T < T_c$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$	سیگمونی Segmented (Mwale <i>et al.</i> , 1994)
$f(T) = \left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}\right) \left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)}\right)^{\left(\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)}\right)^c}$ <p style="text-align: center;">if $T > T_b$ and $T < T_c$ $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$</p>	بتا Beta (Yin <i>et al.</i> , 1995)
$f(T) = \left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)}\right) \left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}\right)^{\left(\frac{(T_o - T_b)}{(T_c - T_o)}\right)}$ <p style="text-align: center;">$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$</p>	بتای اصلاح شده Beta modified (YAN and Hunt, 1999)
$f(T) = (T - T_b)/(T_{o1} - T_b) \quad \text{if } T_b < T \leq T_{o1}$ $f(T) = (T_c - T)/(T_c - T_{o2}) \quad \text{if } T_{o2} < T < T_c$ $f(T) = 1 \quad \text{if } T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$	دندانهای Dent-like (Piper <i>et al.</i> , 1996)

نرمال، مقدار z را برای توزیع نرمال استاندارد برآورد می‌کند. در نهایت برای برآورد ضرایب زمان رطوبتی از معادله زیر استفاده شد. این معادله به عنوان معادله کلیدی و کاربردی برای تخمین ضرایب زمان رطوبتی محسوب می‌شود که با داشتن مقدار پتانسیل آب (Ψ)، زمان جوانه زنی (tg) برای هر صدک و درصد تجمعی جوانه زنی در زمان t با استفاده از نرم افزار SAS برآورد کرد.

$$probit(g) = \frac{\left\{ \Psi - \frac{\theta H}{tg} \right\} - (\Psi b(50))}{\sigma \psi b}$$

در مدل زمان رطوبتی فرض بر این است که توزیع پتانسیل پایه در یک جمعیت بذری دارای توزیعی نرمال است (Watt *et al.*, 2010). با توجه به نرمال بودن توزیع مقادیر پتانسیل پایه در جمعیت بذر داریم:

$$probit(g) = \frac{\Psi b(g) - (\Psi b(50))}{\sigma \psi b}$$

در این معادله، probit (g) یا همان واحد احتمال (Probability unit)، معکوس معادله توزیع نرمال استاندارد است که از روی فراوانی تجمعی یک عامل (در اینجا نسبت جوانه زنی تجمعی = g) در یک جمعیت با توزیع

شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص آکاییک تصحیح شده (AICc) و معیار اطلاعات بیسین (BIC) طبق روابط زیر محاسبه شد (Burnham and Anderson., 2002).

$$RMSE = 1 - \sqrt{\frac{SS_{residual}}{n - p - 1}}$$

در این رابطه n تعداد نقاط داده، p تعداد پارامترهای مدل است و SS باقی مانده و مجموع مربعات باقی مانده از مدل رگرسیون است (Archontoulis and Miguez, 2015).

$$AICc = n \cdot \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2K +$$

$$AIC = \left(\frac{2K(K+1)}{n-k-1} \right)$$

$$n \cdot \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2K$$

RSS، جمع مربعات باقی مانده؛ n، تعداد نمونه و K، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می باشد.

$$BIC = -2 \log L_i + p_i \log n$$

که در آن L_i و P_i احتمال و تعداد پارامترها برای هر مدل، و n تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

تعیین دمای کاردینال

نتایج تعیین دمای کاردینال زیره سبز نشان داد، متوسط زمان لازم برای رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه زنی تحت تاثیر دما قرار گرفته (جدول ۲) و با افزایش دما از صفر تا ۲۰ درجه سانتی گراد، شرایط مناسب دمایی برای جوانه زنی بذر زیره مهیا شده و به تبع آن باعث بهبود سرعت جوانه زنی شد (شکل ۱). نتایج موجود در جدول ۳ مربوط دماهای کاردینال متوسط زمان جوانه زنی بذور زیره سبز براساس چهار مدل بتا، بتا اصلاح شده، دندانهای و دو تیکه ای نشان داده شد. همانگونه که مشاهده می شود بر اساس ضرایب خطای استاندارد (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) مدل بتا به عنوان مدل برتر انتخاب شد (به استثناء

پس از محاسبه تابع Probit برای داده های نسبت تجمعی جوانه زنی، تمامی داده های تیمارهای خشکی مربوط به هر گیاه به صورت جداگانه وارد نرم افزار SAS شد. با استفاده از معادله بالا و برنامه غیر خطی (procnlin) در نرم افزار SAS، ضرایب θH ، Ψb (50) و $\sigma \Psi b$ تخمین زده شدند.

با توجه به اینکه مقادیر Ψb (50) و $\sigma \Psi b$ به ترتیب به عنوان میانگین و انحراف معیار در توزیع پتانسیل پایه محسوب می شوند، نمودار زنگوله ای شکل پراکنش مقادیر پتانسیل پایه در جمعیت برای هر گیاه با استفاده از معادله توزیع نرمال به صورت جداگانه رسم شد. با محاسبه فراوانی هر پتانسیل پایه در تابع نرمال می توان مقادیر درصد جوانه زنی در زمان t را از مدل زمان رطوبتی برآورد کرد. با توجه به اینکه مدل زمان رطوبتی حاصل از مجموعه ای از داده های جوانه زنی در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی می باشد. برای رسم یک شکل واحد حاصل از این مدل جهت نشان دادن درصد جوانه زنی تجمعی در سطوح مختلف پتانسیل اسمزیدر مقابل زمان، باید زمان در سطوح مختلف پتانسیل اسمزینرمال شود. به منظور نرمال کردن زمان از معادله زیر استفاده می شود (Bradford, 1990).

$$tg(0) = (1 - (\Psi / (\Psi b (g)))) \times tg$$

در این رابطه، $tg(0)$: زمان جوانه زنی در آب مقطر (برحسب ساعت)؛ Ψ : پتانسیل آب (مگاپاسکال)؛ $\Psi b (g)$: پتانسیل پایه برای صدک g (برحسب مگاپاسکال)؛ tg : زمان جوانه زنی صدک g (برحسب ساعت) می باشند. برای برآورد مدل نیز از شاخص ایکائیک تصحیح شده، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و معیار اطلاعات بیسین (BIC) استفاده شد.

شاخص های قدرت بذر نیز طبق رابطه های زیر محاسبه شد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

$$\text{درصد جوانه زنی} \times \text{طول گیاهچه} = \frac{\text{شاخص قدرت طول گیاهچه}}{100}$$

که دمای ایده آل برای جوانه زنی بذور و رشد گیاهچه زیره سبز ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی گراد است. نتایج انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2017) بر گیاه پنیرک نشان داد که بیشترین سرعت جوانه زنی مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و کمترین سرعت جوانه زنی مربوط به دمای ۱۵ درجه سانتی گراد بود. در آزمایشی که روی گیاه دارویی مرزه انجام شد نشان داد، با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی گراد سرعت و درصد جوانه زنی افزایش و پس از آن کاهش یافت و با ارزیابی سه مدل رگرسیونی غیر خطی شامل مدل دوتکه ای، دندان مانند و بتا، مدل بتا به عنوان مدل برتر انتخاب و دماهای پایه، مطلوب و سقف به ترتیب ۷/۵۶، ۲۳/۹۸ و ۴۰ درجه سانتی گراد برآورد شد (Khodabahshi *et al.*, 2015). دمای های بالاتر از حد مطلوب باعث افزایش میزان تنفس، کاهش جذب دی اکسید کربن و کاهش منابع غذایی شده که موجب کاهش جوانه زنی بذور شده و همچنین کاهش طول و وزن گیاهچه را نیز به همراه دارد (Booth and Bai, 1999).

کسر ۱۰ درصد جوانه زنی که مدل بتای اصلاح شده مناسبتر بود. بر اساس مدل بتا دمای پایه، بهینه و بیشینه برای هر سه کسر جوانه زنی مشابه، و اختلاف آنها کمتر از ۱ درجه سانتی گراد بود (جدول ۳).

با توجه به پارامترهای تخمین زده در این مدل مشاهده شد، دمایی پایه برای جوانه زنی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد بذوره توده زیره به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۹۱ و ۰/۷۹ سانتی گراد بود. با توجه به نتایج این مدل دمایی بهینه جوانه زنی زیره نیز بین محدوده ۲۰ تا ۲۱ درجه سانتی گراد و دمایی بیشینه نیز ۳۵ درجه سانتی گراد بدست آمد (جدول ۳).

برومند رضازاده و کوچکی (Boroumand Rezazadeh and Koocheki, 2006) دمای پایه جوانه زنی برای گونه های دارویی شوید، رازیانه و زنیان را به ترتیب ۵، ۳/۸۶ و ۲/۸۸ درجه سانتی گراد گزارش کرد. همچنین تبریزی (Tabrizy, 2006) دامنه دمای پایه، مطلوب و حداکثر گیاه دارویی آویشن خراسانی را به ترتیب ۳/۳-۱/۰، ۲۹-۲۴/۹ و ۴۶-۴۵ درجه سانتی گراد گزارش نمود. خوشخوی و بنیانپور (Khosh-Khui and Bonyanpour, 2006) گزارش کردند

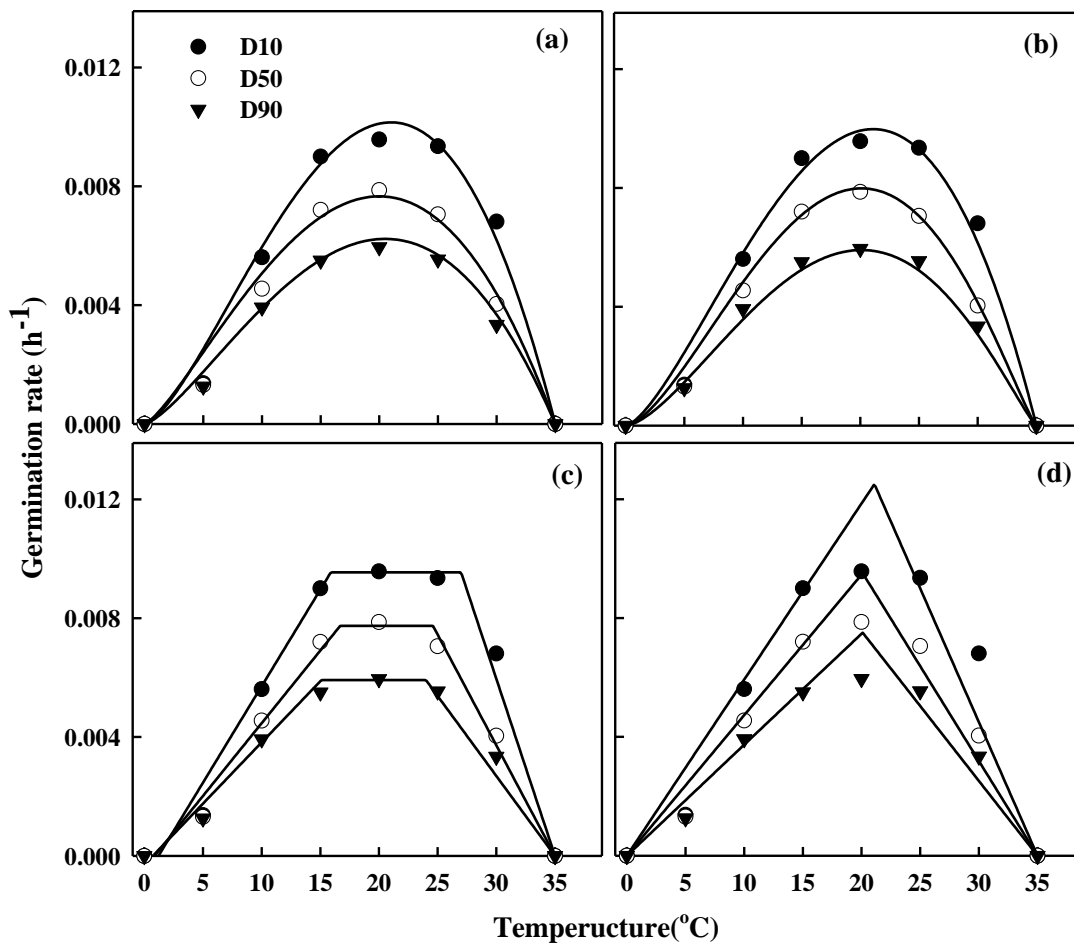
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر دماهای جوانه زنی بر درصد و متوسط زمان جوانه زنی و طول گیاهچه ریزه سبز.

Table 2- Results of analyses of variance for effect of temperature on germination, mean germination time, hypocotyl and Radicle length and vigour of *Cuminum cyminum*

منابع تغییر SOV	Df	میانگین مربعات Means square						
		جوانه زنی Germination	متوسط زمان جوانه زنی Mean germination time			طول Length		قدرت Vigour
			D10	D50	D90	ریشه چه Radicle	ساقه چه Hypocotyl	
دما Temperature	6	4886.3**	6809.8*	12238.3**	17482.2**	5.55**	8.11**	31.6**
خطا Error	13	61.33	1910.89	2057.25	2287.33	0.64	0.93	0.18
ضریب تغییرات CV(%)	-	14.37	25.66	27.18	20.12	22.73	19.19	13.25

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

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



شکل ۱- مدل های مختلف کاردینال سرعت جوانه زنی بذور زیره سبز: (a) بتا اصلاح شده، (b) دندانهای (c) و دوتیکه ای (d).
 Figure 1- Model hydrotime germination rate of seed *Cuminum cyminum*, beat (a), and beta modified (b), dent like (c) and segmented (d).

پیک بود که در محدوده دمای ۱۵ تا ۲۰ درجه بالاترین مقدار این صفات مشاهده شد (شکل ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، درصد جوانه زنی و شاخص قدرت در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد به ترتیب برابر ۹۶ درصد و ۷/۲ بود این در حالی بود که بالاترین طول ساقه چه و ریشه چه به ترتیب با مقادیر ۴/۳ سانتی متر ۳/۷ سانتی متر بود (شکل ۲).

ایزدی دربندی و همکاران (Izady Darband *et al.*, 2012) نیز گزارش کردند، شاخص های جوانه زنی و رشد گیاهچه کنگد در دمای حد مطلوب به بیشترین مقدار خود رسیده و در محدوده دمایی خارج از آن کاهش این صفات را مشاهده کردند. جوانه زنی یک فرایندی فیزیولوژیکی

تأثیر دما بر شاخص های جوانه زنی و رشد گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به درصد جوانه زنی، طول ریشه چه و ساقه چه و شاخص قدرت نشان داد، اثر دما در سطح احتمال ۱ درصد بر این صفات دارای اختلاف معنی داری بود (جدول ۲). روند تغییرات این صفات در اثر دما نشان داد، با افزایش دما تا محدوده ۲۰ درجه میزان شاخص های جوانه زنی افزایش پیدا کرده و در این دما بالاترین مقدار این صفات بدست آمد، این در حالی بود که بالاترین طول ریشه چه و ساقه چه از دمای ۱۵ درجه مشاهده شد و بعد از این دما کاهش در رشد ریشه چه و ساقه چه حاصل گردید. روند تغییرات این صفات نیز به صورت مدل

فرایندهای آنزیمی و به دنبال آن درصد و سرعت
 بوده که به فعالیت آنزیم‌های وابسته می‌باشد، با افزایش
 دما تا حد مطلوب جوانه‌زنی، گیاه می‌تواند سرعت
 جوانه‌زنی را افزایش دهد ولی با افزایش دما به بالاتر از حد
 مطلوب نیز موجب تخریب این آنزیم‌ها و کاهش جوانه‌زنی
 رو به همراه داشته باشد (Green et al., 1994).

جدول ۳- پارامترهای تخمین شده برای مدل‌های بتا، بتا اصلاح شده، دندان‌های و دو تیکه‌ای سهم‌های مختلف جوانه‌زنی بذور زیره سبز (*Cuminum cyminum*).

Table 3- Estimated parameters for the Segmented, Beta, Beta modified and Dent-like models for different germination percentiles of *Cuminum cyminum* seeds.

پارامتر Parameter ¹	سیگموتیدی Segmented			بتا Beta		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
T _b (°C)	3.07±0.058	2.32±0.046	2.5±0.034	0.84±0.032	0.91±0.084	0.79±0.045
T _o (°C)	21.1±2.16	20.1±1.9	20.1±2.08	21.1±1.6	20.1±2.51	20.1±3.46
T _c (°C)	35.0±3.02	35.0±2.57	35.0±2.82	35.0±2.76	35.0±2.45	35.0±2.64
f _o	0.012±0.0014	0.0095±0.0010	0.0075±0.0008	100.2±6.3	125.2±10.3	169.2±4.8
c	-	-	-	1.5±0.52	1.6±0.34	1.6±0.64
R ²	0.891	0.934	0.915	0.979	0.992	0.990
RMSE	0.0018	0.0011	0.0010	0.008	0.004	0.004
پارامتر Parameter ¹	بتا اصلاح شده Beta modified			دندان‌های Dent-like		
	D10	D50	D90	D10	D50	D90
T _b (°C)	1.0±1.4	3.24±0.015	2.21±0.027	1.20±1.07	0.877±0.93	1.06±0.72
T _o (°C)	21.0±0.64	20.0±1.04	20.5±0.66	-	-	-
T _c (°C)	35.0±0.45	35.0±0.58	35.0±0.35	35.0±0.77	35.0±0.72	35.0±0.94
To ₁ (°C)	-	-	-	15.9±1.63	16.7±1.66	15.1±1.77
To ₂ (°C)	-	-	-	27.0±1.43	24.6±1.09	24.0±1.48
f _o	98.5±4.51	130.5±6.51	160.5±5.11	104.7±7.18	129.08±9.7	168.89±15.9
R ²	0.982	0.976	0.989	0.979	0.986	0.978
RMSE	0.007	0.007	0.003	0.009	0.006	0.006

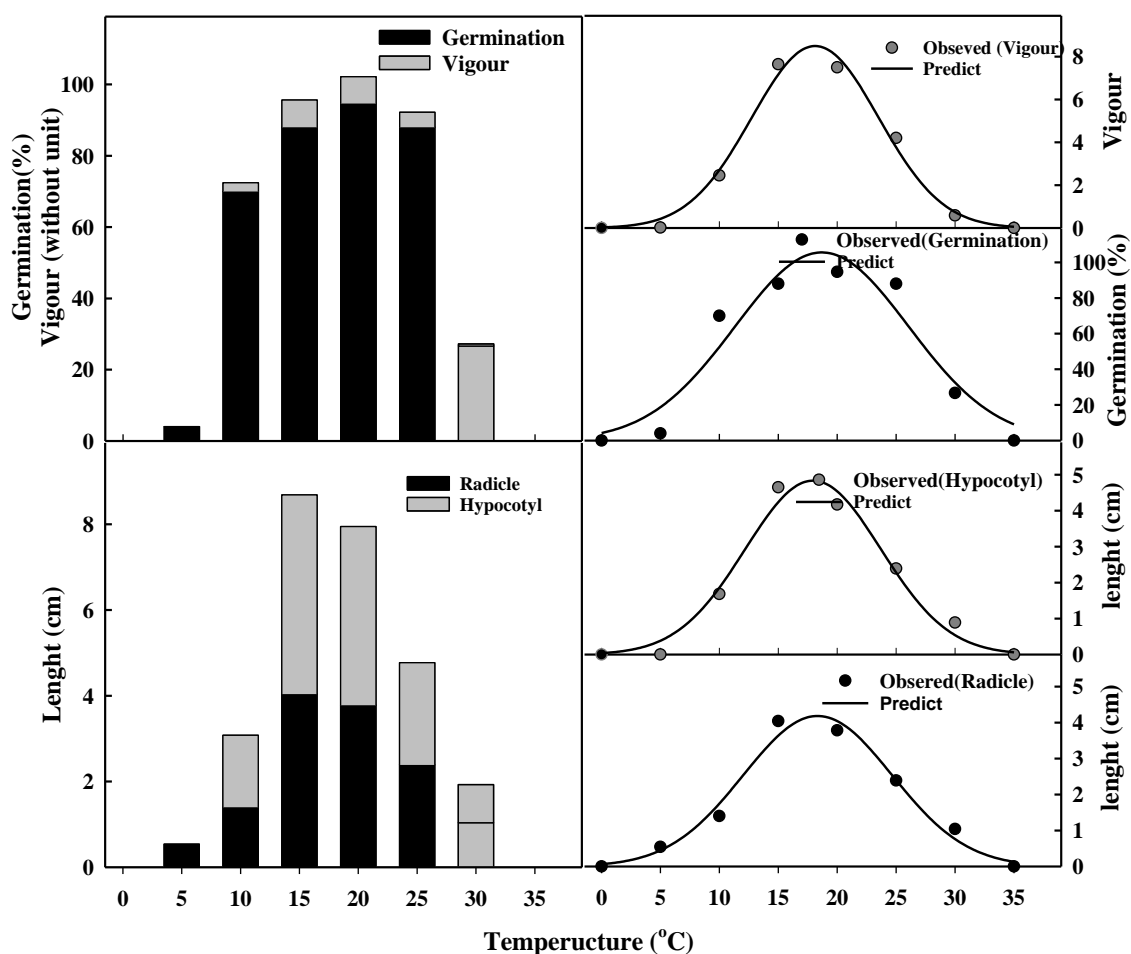
T_b, T_o, T_c, To₁, To₂, fo and c به ترتیب دمایی پایه، دمایی بهینه، دمایی بیشینه، دمایی حد پایین، دمایی حد بالا، حداقل زمان رسیدن به درصد مورد نظر، پارامتر بتا و ضریب رگرسیون.

T_b, T_o, T_c, To₁, To₂, fo and 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.

تعیین مدل هیدروتایم

رابطه بین درصد جوانه‌زنی و $\Psi b(g)$ معنی‌دار بود. مقادیر پتانسیل پایه برای درصد جوانه‌زنی $\Psi b(g)$ نشان دهنده سطحی از پتانسیل است که در مقادیر کمتر از این پتانسیل درصد جوانه‌زنی به طور حتم کمتر از g درصد خواهد بود (Bradford and Still, 2004)، که برای بذور زیره این مقدار ۰/۴۶۳- مگاپاسکال بود. بنابراین زمانی که مقدار $\Psi b(g)$ منفی تر است، بیانگر توانایی بیشتر برای مقاومت مرحله جوانه‌زنی در مقابل خشکی می‌باشد.

نتایج مربوط به مدل هیدروتایم بذر زیره سبز نشان داد، مقدار شاخص آکاییک و ریشه میانگین مربعات خطا برای این مدل، به ترتیب برابر با ۰/۰۷۹- و ۰/۰۷۹- به دست آمد (جدول ۵). نتایج حاکی از آن است که بین پتانسیل آب پایه (g) با درصد جوانه‌زنی ارتباط معنی‌داری وجود دارد. به عبارت دیگر بذرهایی که بیشترین درصد جوانه‌زنی را دارند دارای کمترین مقدار هیدروتایم هستند (شکل ۳).



شکل ۲- تغییرات جوانه زنی، شاخص قدرت و طول ساقه چه و ریشه چه زیر سبزی (*Cuminum cyminum*) در دماهای مختلف.

Figure 2- Changes of germination percentage, vigour and hypocotyl and radicle length *Cuminum cyminum* under different temperature.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر پتانسیل های جوانه زنی بر درصد و متوسط زمان جوانه زنی و طول گیاهچه زیره سبزی.

Table 4- Result of analyses of variance for effects of water potential on germination, germination mean time, hypocotyl and radicle length and vigor of *Cuminum cyminum*

منابع تغییر SOV	df	میانگین مربعات Means square			
		جوانه زنی Germination	طول Length		قدرت Vigour
			ریشه چه Radicle	ساقه چه Hypocotyl	
پتانسیل اسمزی Potential	6	133.079**	3.327**	4.043**	4.299**
خطا Error	14	74.762	0.255	0.277	0.299
ضریب تغییرات CV(%)	-	16.64	18.94	22.94	20.7

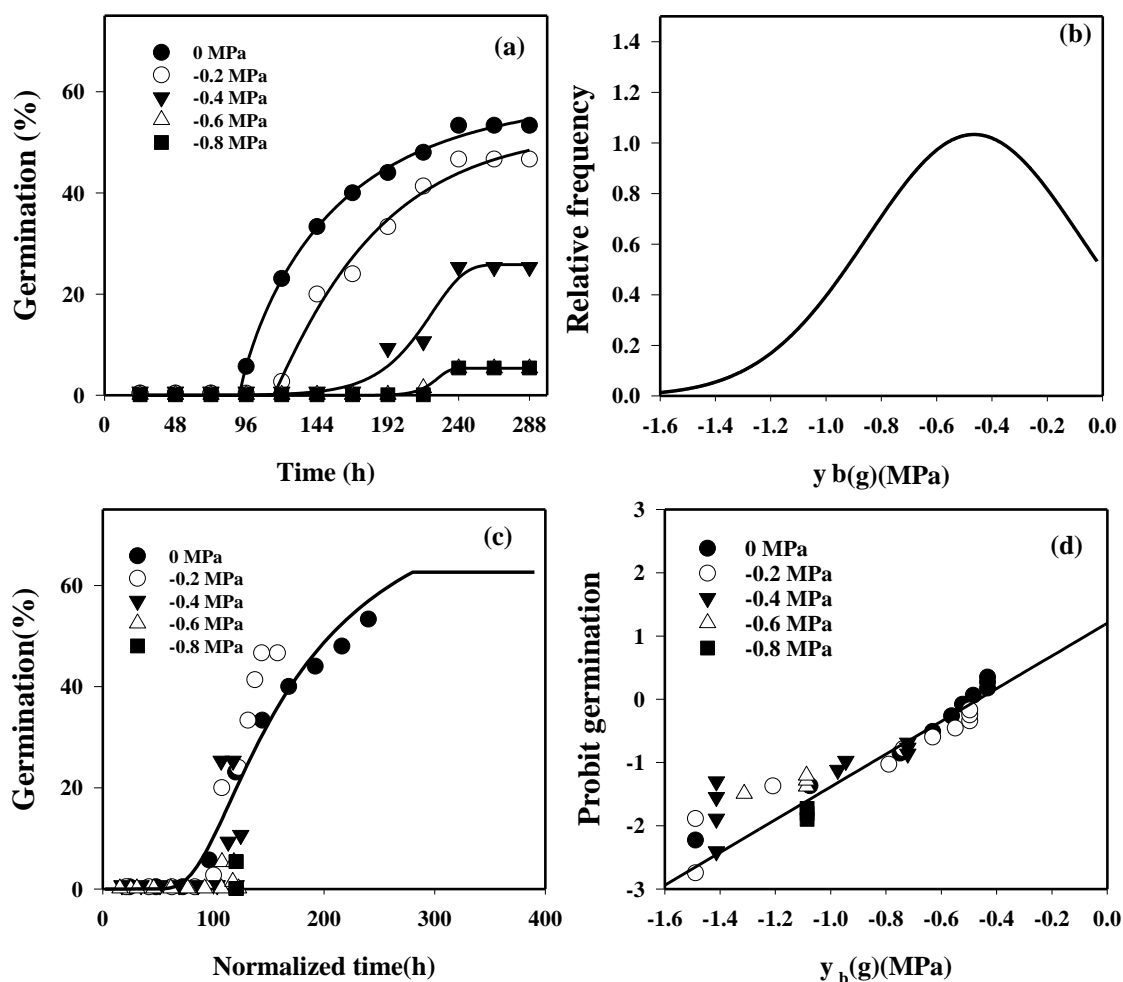
ns, ** and * به ترتیب غیره معنی دار، معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد.

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

جدول ۵- پارامترهای تخمین شده پتانسیل جوانه‌زنی بذور زیره سبز.

Table 5- Estimated parameters for the hydrotime models for different germination percentiles of *Cuminum cyminum* seeds

پارامتر	تخمین	پارامتر	تخمین
Parameter	Estimate	Parameter	Estimate
$\theta_H(\text{MPa h}^{-1})$	95.49±8.54	RMSE	0.079
$\Psi_b(50) (\text{MPa})$	-0.463±0.039	AICC	-393.7
$\sigma_{\psi b} (\text{MPa})$	0.385±0.022	BIC	-381.2



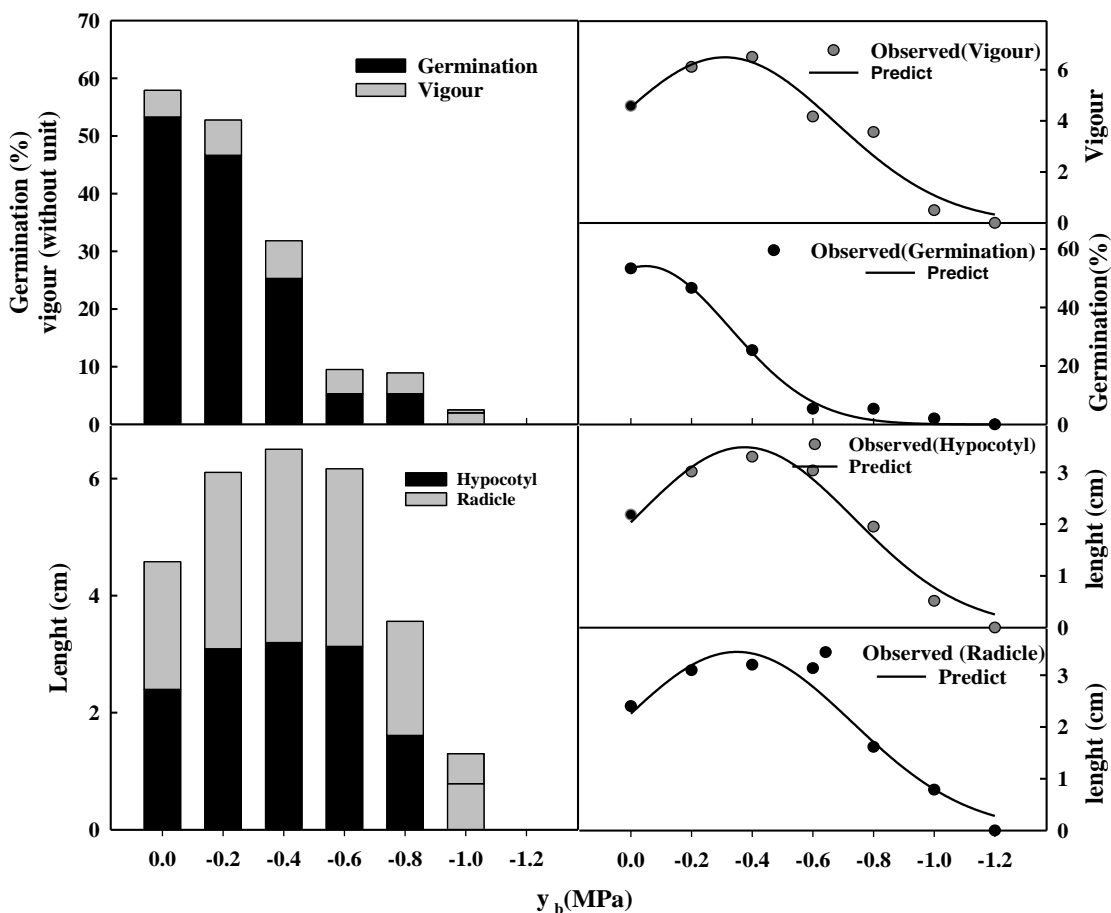
شکل ۳- مدل‌های هیدروتایم جوانه‌زنی زیره سبز. روند جوانه‌زنی تجمعی در پتانسیل‌های مختلف (a)،

فراوانی نسبی جمعیت مورد بررسی (b)، زمان نرمال شده جوانه‌زنی (c) و پتانسیل پایه جوانه‌زنی بذور زیره سبز (d).

Figure 3- Hydrotime model for germination of *Cuminum cyminum* seed. (a) Cumulative seed germination (b), relative frequencies for population, (c) Normalized germination time courses of predicted values from hydrothermal time model (lines) compared with actual data (symbols). D) Probitly transformed and plotted as a function of $w - (\theta_H/t_g)$ which is equivalent to $\Psi_{b(g)}$.

در مرحله جوانه زنی می باشد. هر چه مقدار این شاخص منفی تر باشد بیانگر مقاومت بیشتر به خشکی می باشد (Alimaghani and Ghadri-Far, 2015; Bradford and Still, 2004). در شکل (a^۳) روند درصد جوانه زنی برای پتانسیل های مختلف در برابر زمان نرمال شده قابل مشاهده است که در این حالت زمان جوانه زنی در سطوح مختلف تنش خشکی برای هر دما مشابه جوانه زنی در آب مقطر (شاهد) نرمال شده است.

در شکل (۴) روند پیش بینی درصد جوانه زنی در سطوح خشکی مختلف توسط خروجی حاصل از مدل هیدروتایم نشان داده شده است. ضریب θ_H شاخصی برای سرعت جوانه زنی است. هر چه مقدار این ضریب کوچکتر باشد سرعت جوانه زنی بیشتر خواهد بود (Cardoso and Bianconi, 2013). این ضریب برای بذور زیره سبز برابر ۹۵/۴۹ بود (جدول ۴). همچنین ضریب Ψ_b (g) شاخصی برای نشان دادن تحمل به خشکی بذور



شکل ۴- تغییرات درصد جوانه زنی، شاخص قدرت و طول ساقچه و ریشه چه زیر سبز در پتانسیل های مختلف.

Figure 4- Changes in germination percentage, vigour and hypocotyl and radicle length *Cuminum cyminum* under different potentials.

ارزیابی مدل هیدروتایم از نمودار یک به یک استفاده شد. برای بکارگیری این نمودار نیاز به مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده است. با توجه به اینکه مقادیر پتانسیل پایه در یک جمعیت با میانگین $(g) \Psi_b$ و انحراف معیار $(\sigma\Psi_b)$

در این راستا مشخص شد که با بررسی روند درصد جمعیتی جوانه زنی در مقابل زمان می توان از مدل هیدروتایم در پیش بینی جوانه زنی گیاهان در سطوح مختلف استفاده نمود (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014). برای

یافتن تنش کاهش شدید نشان داد، به طوری که بالاترین طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به ترتیب با مقدار ۳/۱ و ۲/۹۴ سانتی‌متر از تنش ۰/۴- مگاپاسکال حاصل شد که در مقایسه با شاهد ۲۹ و ۲۲ درصد افزایش نشان دادند (شکل ۴).

مطالعات نشان داد کاهش درصد جوانه‌زنی در تنش خشکی می‌تواند ناشی از تأثیر مستقیم تجزیه کندتر مواد آندوسپرم لپه‌ها با انتقال کندتر مواد تجزیه شده به گیاهچه باشد که این امر می‌تواند علاوه بر تأثیر بر جوانه‌زنی بر شاخص قدرت و رشد گیاهچه نیز تأثیر گذار باشد (Saeedi Goraghani et al., 2017). کاهش جوانه‌زنی در اکوتیپ‌های زیره (Saeedi Goraghani et al., 2017) ماشک گل بر (Ghaderi et al., 2011) و شبدر برسیم (Tamartash et al., 2010) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین دما برای جوانه‌زنی زیره سبز محدوده ۲۰ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد بوده که بالاترین سرعت و درصد جوانه‌زنی در این محدوده اتفاق می‌افتد این در حالی بود که بالاترین سرعت رشد گیاهچه در محدوده کمتر و دمایی ۱۵ سانتی‌گراد اتفاق افتاد. همچنین در بین مدل‌های رگرسیونی غیر خطی، مدل بتا بهترین برازش جوانه‌زنی زیره سبز (به جز ۱۰ درصد جوانه‌زنی که مدل بتا اصلاح شده مناسب تر بود) را نشان داد. همچنین نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب است که مدل هیدروتایم و خروجی آن دارای قابلیت بالایی در تفکیک بذور زیره سبز است و این مدل را می‌توان به‌عنوان یکی از آزمون‌های قدرت بذر زیره سبز پیشنهاد کرد. نتایج نشان داد آستانه تحمل به تنش در زیره سبز ۰/۴۶- مگاپاسکال بود و در پتانسیل کمتر از ۱/۶- مگاپاسکال جوانه‌زنی زیره به صفر می‌رسد.

دارای توزیع نرمال است (Bradford, 1997) مشاهده می‌شود در محدوده پتانسیل ۰/۴- تا ۰/۶- مگاپاسکال بالاترین فراوانی نسبی برای پتانسیل پایه بذور زیره سبز حاصل شد که با در دست داشتن فراوانی پتانسیل پایه در هر زمان از جوانه‌زنی (نسبت تجمعی جوانه‌زنی ثبت شده برای هر سطح از خشکی) و با استفاده از معکوس تابع نرمال می‌توان مقادیر پتانسیل پایه در هر فراوانی را به دست آورد (شکل ۳b). با توجه به شکل ۳d مشاهده می‌شود بذور زیره در پتانسیل کمتر از ۰/۴- مگاپاسکال به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (پرویت معادل صفر) می‌رسد که با رسیدن پتانسیل به ۱/۶- مگاپاسکال بذور زیر دیگر قادر به جوانه‌زنی نخواهند بود. در آزمایشی بر گیاه دارویی مرزه، زمان بیولوژیکی جوانه‌زنی در پتانسیل صفر (تیمار شاهد) ۹۱/۱۷ ساعت برآورد شد و زمان بیولوژیکی جوانه‌زنی به ازای کاهش یک مگاپاسکال پتانسیل آب، ۱۷/۶۴ ساعت افزایش یافت.

تأثیر تنش خشکی بر شاخص جوانه‌زنی و رشد گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی، شاخص قدرت و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نشان داد، اثر تنش خشکی در سطح ۱ درصد بر این صفات دارای اثر معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های مربوطه نشان داد، درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاخص قدرت بیشتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به طوری که در سطوح ملایم خشکی (۰/۲- مگاپاسکال) افزایش شاخص قدرت مشاهده شده و در تنش‌های شدیدتر از این مقدار افت شاخص قدرت مشاهده شد، این در حالی بود که درصد جوانه‌زنی با افزایش شدت تنش کاهش شدید داشت که این افت در تنش‌های شدید با سرعت بیشتری صورت گرفت (شکل ۴). روند تغییرات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز نشان می‌دهد این صفات در سطوح پایین تنش خشکی افزایش یافته و با شدت

Reference

Abdul-Baki, A.A., and J.D. Anderson. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. *Crop Sci.* 13: 630-633.

منابع

- Akramian, M., S.H. Hosini, A.O. Kazerony Mofrad, and P. Rezvany Moghadam. 2006.** Effect osmotic preparation of seed on germination and growth seedling fennel (*Foeniculum vulgare Mill*). Iranian J. Crop Res. 5 (1):37-46. (In Persian)
- Alimagham, S.M., and F. Ghaderifar. 2014.** Hydrottime model: Introduction and application in researches seed. Environ. Stresses Crop Sci. 7(1): 41- 52. (In Persian)
- Alvarado, V., and K. J. A. Bradford. 2002.** Hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant Cell Environ. 25: 1061–1069.
- Anda, A., and L. Pinter. 1994.** Sorghum germination and development at influenced by soil temperature and water content. Agron. J. 86: 621-624.
- Ansari, A., J. Grakho, F. Ghadrifar and B. Kamkar. 2017.** Application of Hydrothermal Model for the Calibration of Germination Response of Pumpkin Seed. Environ. Stresses Crop Sci. 67-77. (In Persian).
- Booth, D., and Y. Bai. 1999.** Imbibition temperate effects on seedling vigor: In crops and shrubs. J. Range Manage. 52: 534-538.
- Boroumand Rezazadeh, Z., and A. Koocheki. 2006.** Evaluation of cardinal temperature for three species of Medicinal plants, Ajowan (*Trachyspermum ammi*), Fennel (*Foeniculum vulgare*) and Dill (*Anethum graveolens*). Biaban (Desert Journal). 11(2): 11-16.
- Boydak, M., H. Duruk, F. Tunku and M. Alikoulu. 2003.** Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey, Turk. J. Agric. Forestry. 27(2): 91-97.
- Bradford, K. J. 1990.** A water relation analysis of seed germination rates. Plant Physiol. 94: 840-849.
- Bradford, K. J. 1997.** The hydrottime concept in seed germination and dormancy, pp 349-360. In: Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J., Hong, T.D. (eds.), Basic. Applied Aspect. Seed Biology, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Bradford, K. J. 2002.** Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.
- Bradford, K.J., and D.W. Still. 2004.** Application of hydro time analysis in seed testing. Seed Sci. Technol. 26: 74-85.
- Bradford, K.J., and O.A. Somasco. 1994.** Water relations of lettuce seed thermo inhibition. I. Priming and endosperm effects on base water potential. Seed Sci. Res. 4: 1–10.
- Burnham K.P., and D.R. Anderson. 2002.** Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information Theoretic Approach. Springer, New York, USA.
- Cardoso, V.J.M., and A. Bianconi. 2013.** Hydrottime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) seeds to temperature and reduced water potential. Biotechnol. Sci. 35: 255-261.
- Coolbear, P. 1984.** The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. J. Exp. Bot. 35:1609-1617.
- Dahal, P., and K.J. Bradford. 1990.** Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. J. Exp. Bot. 41: 1441–1453.
- Dubey, N.K., R. Kumar and P. Tripathi, 2004.** Global promotion of herbal medicine: India's opportunity. Current Sci. 86(1): 37– 42.
- Ghaderi, SH., J. Ghorbani, P. Gholami, A. Karimzadeh and F. Salarian. 2011.** Effect of Salt and Drought Stresses on Germination Indices of *Vicia Villosa L.* J. Agroecolo. 3 (1): 121-130. (In Persian with English abstract).
- Green, B., M. Grevers and G. Lafond. 1994.** Soil temperature and crop emergence under conventional and direct seeding. Farm Facts. Canada-Saskatchewan Agreement on Soil Conservation.
- Grundy, A.C., K. Phelps, R.J. Reader and S. Burston. 2000.** Modeling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. New Phytol. 148: 433-444.
- Guerke, W.R., T. Gutormson, D. Meyer, M. McDonald, D. Mesa, J.C. Robinson and D. TeKrony, 2004.** Application of hydrottime analysis in seed testing. Seed Sci. Technol. 26 (1): 75-85.

- Gupta, V. 2003.** Seed germination and dormancy breaking techniques for indigenous medicinal and aromatic plants. *J. Medicinal and Aromatic Plants Sci.* 25: 402-407
- Hashem Nia, S.M., M.O. Nasiri Mahlaty and A. Keshavarze. 2005.** Determinate tersholed salinity and optimum temperature and interaction between them on germination *cuminum Cuminum*. *Iranian J. Crops Res.* 7(1):301-330. (In Persian).
- Izady Darband, E., M. Mohamdian, A.J. Yang and H. Zerghany. 2012.** Effect temperature and salinity on germination characteristic and growth seedling ecotypes Sesame (*Sesamum indicum*). *Iranian J. Crop Res.* 10: 335-345. (In Persian).
- Kebreab, K., and A.J. Murdoch. 1999.** Modeling the effects of water stress and temperature on germination rate of Orobanche aegyptiacaseeds. *J. Exp. Bot.* 50: 655-664.
- Khodabahshi, A.H., B. Kamkar and N. Khalily. 2015.** Quantifying response germination rate *summer savoury* to temperature and water potential with use of nonlinear regression models. *J. Crops:* 229-240.
- Khosh-Khui, M., and A.R. Bonyanpour. 2006.** Effects of some variables on seed germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Int. J. Agric. Res.* 1: 20-24.
- 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.
- Parmoon, G., S.A. Moosavi, H. Akbari and A. Ebadi. 2015.** Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop J.* 3(2): 145-151.
- 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.
- Pourmortazavi, S.M., M. Ghadiri and S.S. Hajimirsadegh. 2005.** Supercritical fluid extraction of volatile components from *Bunium persicum* Boiss (black cumin) and *Mespilus germanica* L. (medlar) seeds. *J. Food Composition and Analysis.* 18: 439-46.
- Riemens, M. M., P.C. Scheepens and R.Y. Vander Weide. 2004.** Dormancy, germination and emergence of weed seeds, with emphasis on influence of light. *Plant Res. Intern. B.V.* 302:1-2
- Saeedi Goraghani, H. R., A. Ranjbar Fordoei, M. Soleimani Sardo and M. J. Mahdavi. 2017.** Effect of Salinity and Drought Stresses on Germination Stage and Growth of Black Cumin (*Bunium Persicum Boiss*) *Iranian J. Field Crops Res.* 15(1): 1-7
- 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.
- Tabrizy, L. 2006.** Evaluation of ecological characteristics of *Thymus transcaspicus* Klokov species in natural areas and its feasibility in low input systems. Ph.D. Dissertation in Agriculture (ecology orientation), Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Tamartash, R., F. Shokrian, and M. Kargar. 2010.** Effects of salinity and drought stress on *Trifolium alexanderium* L. seed germination properties. *Rangeland* 4(2): 288-297. (In Persian).
- Thygerson, T., J.M. Harris, B.N. Smith, L.D. Hansen, R.L. Pendleton and D.T. Booth. 2002.** Metabolic response to temperature for six populations of winter fat (*Eurotia lanata*). *Thermochemical Acta* 394: 211-217.
- Tilki, F., and H. Dirik. 2007.** Seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten.) as influenced by stratification, temperature and water stress. *J. Environ. Biol.* 28(1): 133.
- 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. Expe. Bot.* 60: 3397-3406. doi:10.1093/jxb/erp178.
- Watt, M.S., V. Xu and M. Bloomberg. 2010.** Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential. *Ecolo. Modelling.* 221: 1267-1272.
- 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. Forest Meteorol.* 77: 1-16.