

اثر متقابل دما و خشکی بر جوانه‌زنی بذر گونه زربین (*Cupressus sempervirens var. horizontalis*)

فاطمه علی‌یاری¹، علی سلطانی²، مهرداد زرافشار^{3*} و علی ستاریان⁴

- 1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- 2- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- 3- بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، فارس، ایران.
- 4- دانشیار، گروه شیلات و جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران.

تاریخ پذیرش: 95/04/31

تاریخ دریافت: 94/11/14

چکیده

این تحقیق به منظور تعیین مدل رطوبتی-دمایی-زمانی گونه بازدانه زربین که در جنگلداری شهری کشاورمان بسیار به کار برده می‌شود، در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شده است. مدل رطوبتی-دمایی-زمانی با در نظرگیری آستانه‌های تحمل استرس بذرهای در حال جوانه‌زنی طراحی می‌شود. در این بررسی بذرهای در پنج شرایط دمایی (10، 15، 20، 25، 30 درجه سانتی‌گراد) و پنج شرایط تنش خشکی (صفر، 0/5-، 1-، 1/5- و 2- مگا پاسکال) قرار گرفتند. دمای بهینه (T_0) 21/05 درجه سانتی‌گراد و دمای پایه (T_b) 6/041 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. مقدار ثابت رطوبتی-زمانی (θ_H) برای گونه زربین 0/35 است. نتایج نشان داد با کاهش پتانسیل آبی و درجه حرارت، درصد جوانه‌زنی روند کاهشی پیدا می‌کند. همچنین دما و پتانسیل آبی به صورت مستقل و هم‌زمان بر میانگین زمان جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بذر زربین مؤثرند. در نهایت مدل رطوبتی-دمایی-زمانی برای این گونه ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آبی، جوانه‌زنی، دما، زربین، مدل رطوبتی-دمایی-زمانی.

صادق باشد (Rowse and Finch-Savage, 2003). مدل

آبی-زمانی به صورت کمی، مقدار پیشرفت جوانه زنی را به عنوان تابعی از پتانسیل آبی توصیف می کند. برای اولین بار Gummerson (1986) برای به دست آوردن اثرهای کاهش پتانسیل آبی بر جوانه زنی مفهوم مدل آبی-زمانی را پیشنهاد کرد.

تقریباً کلیه واکنش های متابولیکی و هورمونی سلول تحت تأثیر کمبود آب قرار گرفته و تولید و فعالیت آنزیم ها و در نتیجه سنتز پروتئین کاهش می یابد و حتی در تنش های شدید از بین می رود و در آخر بر رشد سلول تأثیر می گذارد (Kafi et al., 2005). Ahmadloo و همکاران (2011) به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه زنی و برخی صفات های فیزیولوژیکی بذر در دو گونه سرو نقره ای (*Cupressus arizonica*) و زربین (*C. sempervirens*) پنج سطح رطوبتی (صفر، -2، -4، -6، و -8 بار) را به بذرها القا کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که استرس آبی تأثیر معنی داری بر ویژگی های فیزیولوژیکی بذر در هر دو گونه دارد. با کاهش پتانسیل از صفر تا -8 بار درصد جوانه زنی به طور قابل توجهی کاهش و میانگین زمان جوانه زنی افزایش یافت. در نهایت گونه زربین برای کاشت در مناطق خشک مناسب تر معرفی شد. در پژوهشی دیگر Muscolo و همکاران (2003) به بررسی تغییر در رفتار جوانه زنی کاج بادامی (*Pinus pinea L.*) بر اثر تنش خشکی در پتانسیل های اسمزی متفاوت پرداختند. آنها نشان دادند که با کاهش پتانسیل اسمزی جوانه زنی متوقف می شود.

اثر حرارت و پتانسیل آبی بر جوانه زنی به ترتیب با مدل های دمایی-زمانی و رطوبتی-زمانی توصیف می شوند. (Falleri (1994) با اعمال تنش خشکی (صفر تا -8 بار) در شرایط دمایی 22 درجه سانتی گراد بر بذر *Pinus pinaster* به این نتیجه رسید که کاهش در

جوانه زنی از بحرانی ترین مراحل استقرار گیاهچه است و اهمیت زیادی در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارد و اغلب توسط حرارت، حتی زمانی که شرایط رطوبتی مناسب است، محدود می شود (Jordan et al., 1989). آب یک نیاز اساسی برای جوانه زنی است و همچنین برای فعالیت، تفکیک، جایگیری و ذخیره سازی مواد مغذی یک امر ضروری است. حرارت اولین عامل محیطی است که جوانه زنی و خواب بذر را تحت تأثیر قرار می دهد (Copeland and McDonald, 2001) بنابراین می توان گفت که جوانه زنی بذرها به شدت تحت تأثیر حرارت و پتانسیل آبی است و از این رو می توان با یک مدل که بر پایه زمان-گرمایی (Thermal time model) است توصیف شود.

بر اساس مفهوم مدل رطوبتی-دمایی-زمانی می توان الگوی جوانه زنی بذر را پیش بینی کرد (Allen et al., 2000; Bradford, 2005). مدل رطوبتی-دمایی-زمانی، یک مدل برای پیش بینی جوانه زنی بذر است. این پیش بینی اجازه می دهد پیشرفت جوانه زنی در سراسر محیط های متغیر که در آن پتانسیل آبی و درجه حرارت نوسان دارد، جمع بندی شود. مدل سازی مدل رطوبتی-دمایی-زمانی نظریه ای فراهم می کند تا اثر درجه حرارت و پتانسیل آبی را بر جوانه زنی تحت شرایط کنترل شده یا طبیعی، به صورت کمی بیان کند. امتیاز این مدل ها این است که شاخص های این مدل ها دارای مفاهیم زیستی هستند (Soltani et al., 2010).

اثر حرارت و پتانسیل آبی روی جوانه زنی به ترتیب با مدل زمان-گرمایی و آبی-زمانی (Hydrotime model) توصیف می شود. مدل زمان-گرمایی این امکان را می دهد تا سرعت جوانه زنی بین دو مقدار کمترین مقدار (min) و حرارت نرمال (opt) به صورت خطی افزایش پیدا کند، که به نظر می رسد برای بیشتر گونه ها

با توجه به اهمیت گونه زربین این پژوهش قصد دارد با استفاده از مدل رطوبتی-دمایی-زمانی که ترکیبی از واکنش جوانه‌زنی بذر در طول زمان به شرایط محدود شده آبی و دمایی است، به این سؤالها پاسخ دهد که آیا می‌توان رفتار جوانه‌زنی این گونه را بر اساس یک مدل پیش‌بینی کرد؟ مناسب‌ترین دما (دمای بهینه) برای جوانه‌زنی بذر این گونه درختی کدام است؟ کمترین دمایی که جوانه‌زنی در آن آغاز می‌شود کدام است؟ کمترین پتانسیل آبی که جوانه‌زنی در آن می‌تواند آغاز شود کدام است؟

مواد و روش‌ها

بذر گونه زربین از مرکز تهیه و تولید بذر درختان جنگلی خزر واقع در شهرستان محمودآباد آمل تهیه شد. این آزمایش در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده منابع طبیعی دانشگاه شهرکرد انجام شد. این آزمایشگاه دارای شش دستگاه انکوباتور است، بنابراین در این آزمایش همه تیمارها باهم بررسی شدند. چهار تکرار 50 بذر از زربین در پنج سطح دمایی (10، 15، 20، 25، 30 درجه سانتی‌گراد) و پنج سطح خشکی (صفر، 0/5، 1-، 1/5- و 2- مگا پاسکال) مورد آزمون قرار گرفتند. برای ایجاد پتانسیل آبی از پلی‌اتیلن گلاکول 6000 بر اساس فرمول ارائه شده توسط Michel and Kaufmann (1973) استفاده شد.

بذرها به مدت یک ماه روزشمار شدند. درصد بذرهای جوانه‌زده در انتهای دوره به‌عنوان قوه نامیه بذر در هر تیمار در نظر گرفته شد. میانگین زمان جوانه‌زنی نیز به صورت $\sum(t.n)/\sum n$ به‌عنوان نماینده بینه جوانه‌زنی بذر محاسبه شد، که در آن t شمار روزی است که جوانه‌زنی در آن روز خوانده شده و n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز t است. پس از آزمون نرمال بودن مقادیر به‌دست آمده توسط آزمون Kolmogorov-

پتانسیل اسمزی، کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و نرخ جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. در پژوهش (Dirik 2002) سه گونه کاج (*Pinus brutia*) در معرض دو تیمار دمایی 15 و 20 درجه سانتی‌گراد و دو تنش خشکی 0/2- و 0/4- مگا پاسکال قرار گرفت. طبق نتایج آنها به‌طور کلی جوانه‌زنی در دمای 15 درجه کمتر از دمای 20 درجه سانتی‌گراد بود و همچنین با کاهش در پتانسیل اسمزی جوانه‌زنی روندی کاهشی پیدا می‌کند. در پژوهشی دیگر Ahmadloo و همکاران (2010) به‌منظور بررسی اثرهای تنش آبی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی بذر، 5 سطح رطوبتی را بر روی بذر کاج بروسیا (*P. brutia*) و کاج حلب (*P. halepensis*) اعمال کردند. نتایج نشان داد که تنش آبی بر خصوصیات فیزیولوژیکی بذر هر دو گونه اثر گذاشت و در هر دو گونه با کاهش توان جذب آب کاهش معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بینه بذر مشاهده شد. در مقایسه بین دو گونه بذر *P. halepensis* نسبت به بذر *P. brutia* به شرایط کم‌آبی حساس‌تر بود. زربین، با نام علمی *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* از تیره سروها (Cupressaceae)، جزو گونه‌های بازدانه بومی ایران بوده که رویشگاه‌های طبیعی آن از ذخیره‌گاه‌های مهم جنگلی کشور محسوب می‌شود، ولی به دلیل دخالت‌های شدید، توده‌های طبیعی زربین از حالت طبیعی خارج شده و به‌عنوان ذخیره‌گاه‌های اکولوژیکی از وضعیت مناسبی برخوردار نیستند، بنابراین حفظ و حمایت از توده‌های طبیعی و گسترش جنگلکاری با این گونه از نظر بومی بودن و با توجه به مقاومت این گونه به شرایط نامساعد محیطی و خشکی زیاد از ضروریات جنگلکاری در ایران است. (Rezaee, 2000).

جوانه‌زنی بذر را در دامنه‌ای از دماها و پتانسیل‌های آبی مختلف توصیف کند.

$$\theta_{HTT} = (\psi - \psi_b) (T - T_b) t_g \quad \text{رابطه (5)}$$

در این رابطه θ_{HTT} ثابت مدل رطوبتی-دمایی-زمانی (مگا پاسکال در درجه سانتی‌گراد در روز)، T دمای محیط و T_b دمای پایه (درجه سانتی‌گراد)، ψ پتانسیل آب، ψ_b پتانسیل آب پایه (مگا پاسکال) است. این تابع واکنش جوانه‌زنی در دماهای زیر مطلوب و در پتانسیل‌های آبی مختلف را به‌خوبی توصیف می‌کند.

نتایج

نتایج مقایسه میانگین روند جوانه‌زنی بذر گونه زربین در تیمارهای مختلف پتانسیل آبی نتایج نشان داد که بالاترین درصد جوانه‌زنی گونه زربین در تمامی تیمارهای پتانسیل آبی متعلق به تیمار دمایی 20 درجه سانتی‌گراد است. پس از آن، دمای 25 درجه بیشترین درصد جوانه‌زنی را داشت. کمترین درصد جوانه‌زنی متعلق به دمای 10 درجه سانتی‌گراد بود. روند تغییرات جوانه‌زنی در پاسخ به دماهای مختلف در تمامی تیمارهای پتانسیل آبی مشابه بود (شکل 1).

Smirnov و همچنین آزمون همگنی واریانس‌ها (Leven) برای هر گونه اختلاف شاخص‌های درصد قوه نامیه و میانگین زمان جوانه‌زنی تیمارهای هایدروترمال توسط تجزیه واریانس دوطرفه (Two-way ANOVA) بررسی شدند. دمای پایه (T_b) (کمترین دمایی که جوانه‌زنی آغاز می‌شود) به‌دست آمد.

برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از رابطه زمان-گرمایی، به‌صورت زیر استفاده شد (روابط 1 و 2) (Qiu *et al.*, 2006):

$$\theta_T (g) = (T - T_b) t_g \quad \text{رابطه (1)}$$

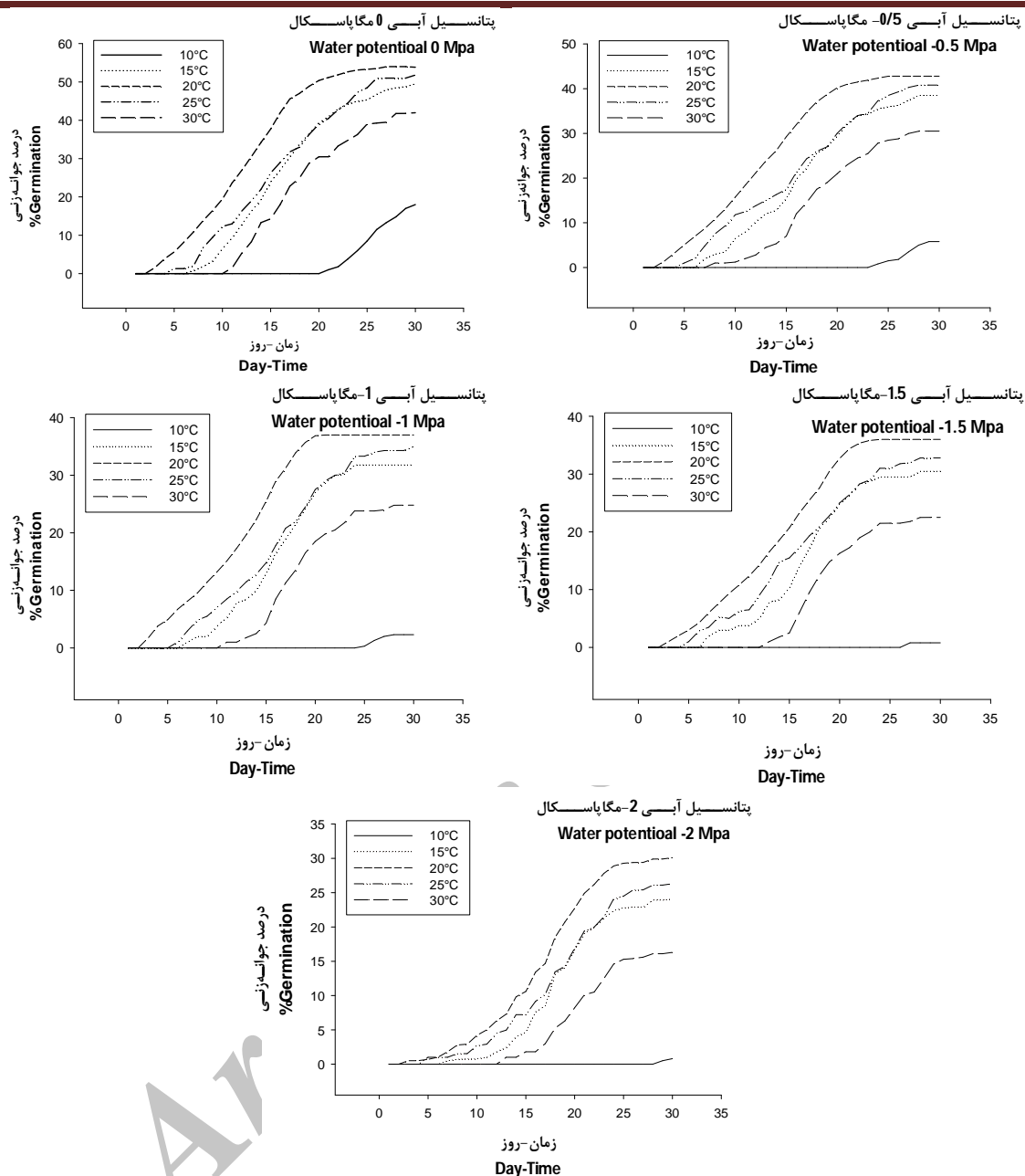
$$GR = (T - T_b) / \theta_T \quad \text{رابطه (2)}$$

که در این رابطه GR سرعت جوانه‌زنی (Germination rate)، θ_T ثابت زمان-گرمایی (درجه سانتی‌گراد در روز) یعنی مقدار دماهای بالاتر از دمای پایه که برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی به‌صورت تجمعی جمع می‌شوند، t_g زمان رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی، T دمای محیط (درجه سانتی‌گراد) و T_b دمای پایه است. برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به پتانسیل آبی از رابطه آبی-زمانی به‌صورت زیر استفاده شد (رابطه‌های 3 و 4) (Gummerson, 1986):

$$\theta_H = (\Psi - \Psi_b (g)) t_g \quad \text{رابطه (3)}$$

$$GR = (\Psi - \Psi_b) / \theta_H \quad \text{رابطه (4)}$$

که در آن θ_H ثابت مدل آبی-زمانی (مگا پاسکال در روز) یعنی مقدار پتانسیل‌های آب بالاتر از پتانسیل پایه که باید برای درصد خاصی از جوانه‌زنی به‌صورت تجمعی جمع شوند. Ψ پتانسیل آب و Ψ_b پتانسیل آب پایه (مگا پاسکال) است. برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و پتانسیل آبی از مدل رطوبتی-دمایی-زمانی به‌صورت رابطه 5 استفاده شد (Bradford, 2002). این رابطه می‌تواند الگوهای



شکل 1- میانگین روند جوانه‌زنی بذرهای گونه زربین در شرایط پتانسیل آبی مختلف

Figure 1. Mean germination percentage trend of *Cupressus sempervirens* seeds in different water potential

مطلب است که تأثیر هم‌زمان دو عامل دما و پتانسیل آبی بر درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول 1).

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی گونه زربین در شرایط دمایی و پتانسیل آبی مختلف

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه در رابطه با دو شاخص درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی مؤید این

جدول 1- تجزیه واریانس شاخص‌های درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی قرار گرفته در شرایط دمایی و پتانسیل مختلف

Table1. ANOVA results for indicators of germination percentage and the mean germination time at various conditions of temperature and water potential

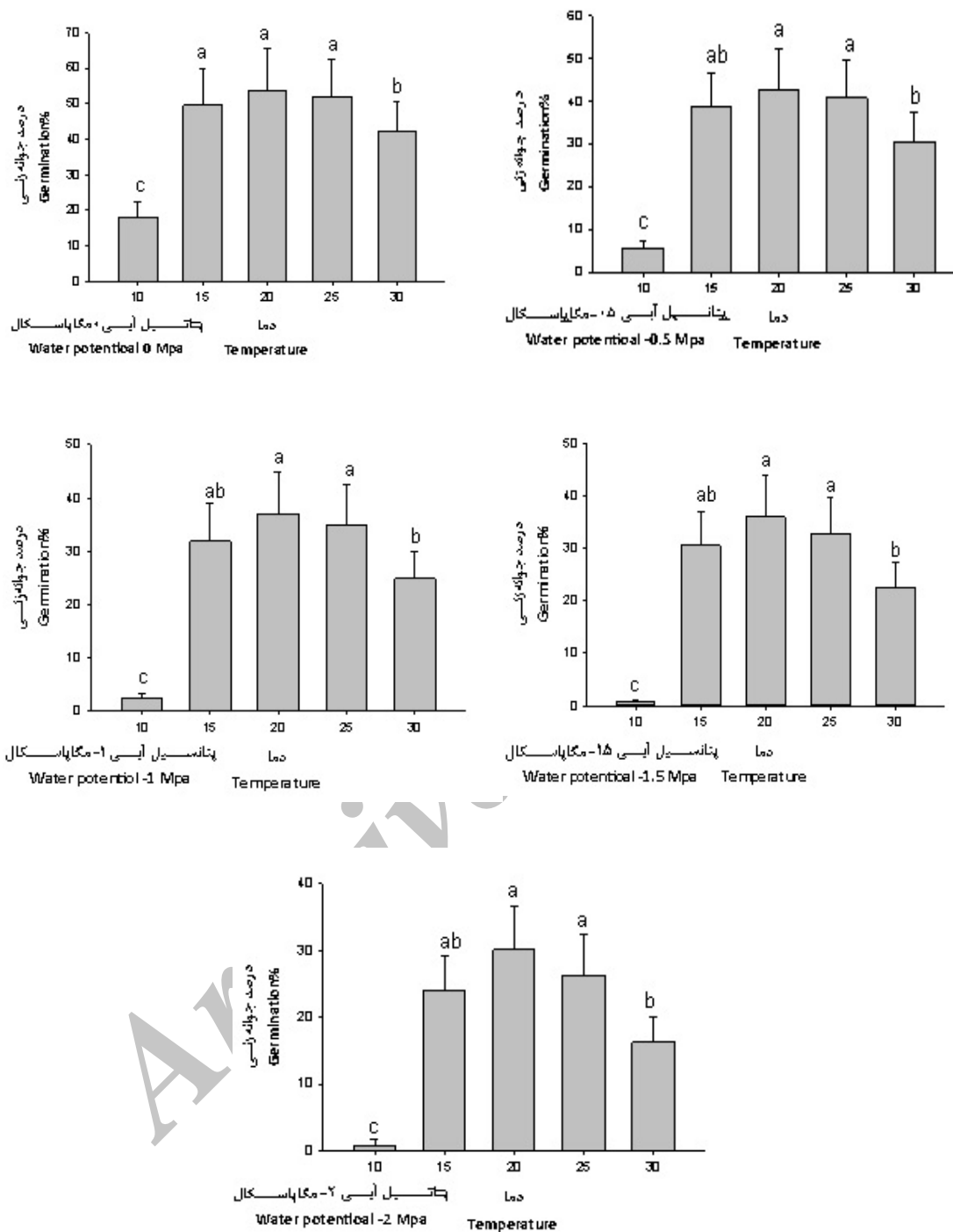
میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	درصد جوانه‌زنی Germination (%)	منبع تغییرات Source of variations (SV)
میانگین مربعات MSE	میانگین مربعات MSE	
147.45*	0.01518*	پتانسیل آبی Water potential
213.64*	2.14603*	دما Temperature
145.17*	0.01649*	پتانسیل آبی × دما W.P × Temp
10.03	0.00896	خطا Error

* Significant at $\alpha=0.05$

* معنی‌داری در سطح 5 درصد

رگرسیون تغییرات نرخ جوانه‌زنی در طول دامنه تغییرات پتانسیل آبی دیده نشد ($\theta_H=0/35\pm 0/03$). به علت نرخ جوانه‌زنی ضعیف گونه، تنها از نرخ جوانه‌زنی 30 درصد و پتانسیل آبی پایه $\Psi_{b(30)}$ برای محاسبه مدل رطوبت-دمایی-زمانی استفاده شد. با استفاده از مقادیر متوالی میانگین‌های جوانه‌زنی برای درصدهای جوانه‌زنی 30 درصد، مقدار ثابت رطوبتی-دمایی-زمانی برای گونه سرو زربین 144/8 مگا پاسکال درجه سانتی‌گراد روز ($MPa^{\circ}C.d$) محاسبه شد. مقایسه این مدل با مقادیر به‌دست‌آمده از جوانه‌زنی بذرهای ضریب تبیین 0/89 و RMSE برابر با 0/06 را نشان داد.

بر اساس نتایج دانکن بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای 20 درجه سانتی‌گراد رخ داده است (شکل 2). پتانسیل آبی شاهد و پتانسیل آبی 2- مگا پاسکال به ترتیب بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی را داشته‌اند. با استفاده از روش محاسبه معادله دمایی-زمانی در پتانسیل آبی صفر، دمای بهینه (T_0) برای این گونه مقدار $21/05 \pm 0/4$ و دمای پایه $6/04 \pm 0/1$ (T_0) درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (جدول 2). پتانسیل آبی پایه برای به‌دست آوردن 30، 50 و 80 درصد جوانه‌زنی به ترتیب برابر با 1/08-، 0/92- و 0/51- مگا پاسکال محاسبه شد. تفاوت معنی‌داری بین شیب خطوط



شکل 2- تغییرات میانگین درصد جوانه‌زنی در مقابل تغییرات دمایی و رطوبتی مختلف

(حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح 5 درصد به وسیله آزمون چند دامنه دانکن است)

Figure 2. Changes of mean germination percent in different temperature and humidity conditions (Different letters indicate significant difference at $\alpha=0.05$ by Duncan's multiple range test)

جدول 2- تخمین شاخص‌های مدل رطوبتی-دمایی-زمانی

Table 2. Estimated parameters of hydrothermal time model

شاخص‌های مدل رطوبتی-دمایی-زمانی	
parameter of hydrothermal time model	
21.05±0.4	دمای پایه T_o
6.04±0.1	دمای بهینه T_b
-1.08	پتانسیل آبی پایه برای 30 درصد جوانه‌زنی $\Psi_{b(30)}$
-0.92	پتانسیل آبی پایه برای 50 درصد جوانه‌زنی $\Psi_{b(50)}$
-0.51	پتانسیل آبی پایه برای 80 درصد جوانه‌زنی $\Psi_{b(80)}$
0.35± 0.03	ثابت مدل آبی-زمانی θ_H
144.8	ثابت مدل رطوبتی-دمایی-زمانی θ_{HT}
0.89	ضریب تبیین R2
0.06	خطای جذر میانگین مربعات RMSE

بحث

و بالاترین زمان جوانه‌زنی را داشتند. بر اساس نتایج تیمارهای دمایی و تنش خشکی به صورت هم‌زمان بر جوانه‌زنی بذرها مؤثر بود.

Karavani و همکاران (2013) با اعمال 6 تنش خشکی (0، -2، -4، -6، -8، -10) و 7 تنش دمایی (5، 10، 15، 20، 25، 30، 35 درجه سانتی‌گراد) بر بذر *Tanacetum polycephalum* گزارش کردند در تمام دماها با کاهش پتانسیل آبی، درصد جوانه‌زنی نیز کاهش چشم‌گیری داشته است. Khodabakhshi و همکاران (2015) با بررسی جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) نشان دادند، اثر متقابل حرارت و پتانسیل آبی بر صفت‌های جوانه‌زنی این گیاه معنی‌دار است.

در تحقیق حاضر پتانسیل آبی پایه (Ψ_b) برای به-دست آوردن جوانه‌زنی در 30، 50 و 80 درصد به

با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر، مناسب‌ترین دمای جوانه‌زنی برای گونه زربین $21/05 \pm 0/4$ درجه سانتی-گراد است درحالی‌که دمای پایه برای شروع جوانه‌زنی در این گونه (T_b) $6/04 \pm 0/1$ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. Khalili و همکاران (2014) با کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی جو در مقابل حرارت و رطوبت دمای بهینه جوانه‌زنی را $27/5$ درجه سانتی‌گراد و دمای پایه را $-0/9$ درجه سانتی‌گراد به دست آوردند. بر اساس نتایج مقایسه‌های آماری در رابطه با متوسط زمان جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی، بهترین ترکیب پتانسیل آبی و دما برای جوانه‌زنی، در پتانسیل آبی صفر و بعد از آن -5 مگا پاسکال و همچنین دمای 20 درجه سانتی‌گراد رخ داد. بذرها در تیمار دمایی 10 درجه سانتی‌گراد و تنش خشکی 2- مگا پاسکال کمترین مقدار درصد جوانه‌زنی

(2010) نشان دادند، مقدار ثابت مدل رطوبتی-دمایی-زمانی برای دو گونه *Buddleja* و *Pinus radata* به ترتیب حدود 165 و 105 مگا پاسکال درجه در روز بود. Akbari و همکاران (2015) نیز ثابت مدل رطوبتی-دمایی-زمانی برای کرچک را 833/10 مگا پاسکال درجه در روز به دست آوردند.

در نهایت می‌توان اذعان داشت که اگرچه عامل رطوبت برای جوانه‌زنی بذر گونه زربین مهم است با این وجود نقش دمای بهینه (25-20 درجه سانتی‌گراد) برای رسیدن به بیشترین جوانه‌زنی اهمیت زیادی دارد چراکه حتی در شرایط شدید تنش خشکی نیز بیشترین مقدار جوانه‌زنی در دمای بهینه ثبت شده است، از این رو برای تولید نهال بذری برای این گونه باید شرایط دمایی به‌عنوان یک عامل مهم مدنظر قرار بگیرد.

References

- Akbari, H., A. Derakhshan, B. Kamkar & S.A.M. Modares Sanavi, 2015. Modeling Seed Germination of *Ricinus communis* Using Hydrothermal Time Model Developed on the Basis of Weibull Distribution, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3):543-552.
- Ahmadloo, F., M. Tabari & H. Yousofzadeh, 2010. The effect of manure and peat treatment improve germination and viability of *Cupressus sempervirens* and *C.arizonica* in Nursery, *Journal of Forestry and Wood Products*, 6(4):317-330. (In Persian)
- Ahmadloo, F., M. Tabari & B. Behtari, 2011. Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus* seeds, *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 1(1):11-17.
- Allen, P.S., E.T. Thorne, J.S. Gardner & D.B. White, 2000. Is the barley endosperm a water reservoir for the embryo when germinating seeds are dried? *International Journal of Plant Science*, 161(2):195-201.
- Bradford, K.J., 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy, *Weed Science*, 50(2):248-260.
- Bradford, K.J., 2005. Threshold models applied to seed germination ecology, *New Phytologist*, 165(2):338-341.
- Copeland, L.O. & M.B. McDonald, 2001. Principles of seed science and technology, 4th edition. Boston, Kluwer, 488p.
- Dirik, H., 2002. Effet du stress hydrique osmotique sur la germination des grains chez les provenances de Cedre du Liban (*Cedrus libani* A. Rich.) d'origine turque, *Annals of Forest Science*, 57(4):361-367.
- Falleri, E., 1994. Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus pinaster* Ait, *Seed Science Technology*, 22(3):591-599.
- Gummerson, R.J., 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet, *Journal of Experimental Botany*, 37(6):729-741.
- Jordan, G.L. & M.R. Haferkamp, 1989. Temperature responses and calculated heat units for germination of several range grasses and shrubs, *Journal of Range Management*, 42:41-45.

ترتیب برابر با 1/08، -0/92 و -0/51 مگا پاسکال محاسبه شد. این اعداد نشان‌دهنده کمترین پتانسیل آبی لازم برای جوانه‌زنی هستند. اگر بذر در معرض مقادیر منفی پتانسیل آبی قرار بگیرد مشابه وقتی است که بذر در یک محیط خشک باشد و آب از دست بدهد.

مدل آبی-زمانی پیشرفت به سمت جوانه‌زنی را به-عنوان تابعی از پتانسیل آبی، به صورت کمی توصیف می‌کند و بیان می‌کند با کاهش پتانسیل آبی جوانه‌زنی نیز به تدریج کندتر می‌شود. مقدار عددی مدل آبی-زمانی (θ_H) برای گونه زربین برابر با $0/35 \pm 0/03$ است. طبق نتایج این آزمایش مقدار عددی مدل رطوبتی-دمایی-زمانی 144/8 مگا پاسکال درجه سانتی‌گراد روز (MPa°C.d) به دست آمد. با توجه به ضریب تبیین (0/86) این مدل توانسته است به خوبی جوانه‌زنی بذور زربین را توصیف کند. Watt و همکاران

- Karavani, B., R. Tavakkol Afshari, N. Majnoon Hosseini & S.A. Moosavi, 2013. Effect of drought stress on germination characteristics of *Tanacetum polycephalum* under different temperature regimes, *Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(14):1018-1023.
- Kafi, M., A. Nezami, H. Hosseini & E. Maasomi, 2005. The physiological effect of stress caused by PEG on germination of *Lens culinaris* genotypes, *Iran Agricultural Research magazine*, 3(5):69-80. (In Persian)
- Khalili1, N., A. Soltani, E. Zeinali & F. Ghaderifar, 2014. Evaluation of nonlinear regression models to quantify barley germination rate response to temperature and water potential, *Crop production*, 7(4):23-40.
- Khodabakhshi, A., B. Kamkar & N. Khalili, 2015. Quantify the seed germination of *Satureja hortensis* L. rate to temperature and water potential by using non-linear regression models, *Journal of crop improvement*, 17(1):229-240.
- Michel, B.E. & M.R. Kaufmann, 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000, *Plant Physiology*, 51(5):914-916.
- Muscolo, A., M.R. Panuccio & M. Sidari, 2003. Effect of salinity on growth carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuya grass, *Pennisetum clandestinum*, Hochst, *Plant science*, 164(6):1103-1110.
- Qui, J., Y. Bai, B. Coulman & J.T. Romo, 2006. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimens, *Seed Science Research*, 16(04):261-271.
- Rezaei, A., 2000. Cypress evaluate ecological natural habitats in northern Iran (Case Study: Hassan Abad Chalous, Ramy and Zarrin Gol, Golestan, Gorgan). Master's Thesis. Gorgan University, Gorgan, Iran, 220 p. (In Persian)
- Rowse, H.R. & W.E. Finch-Savage, 2003. Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures, *New Phytologist*, 158(1):101-108.
- Soltani, A. & V. Maddah, 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy, Tehran University Press, Tehran, 140 p. (In Persian)
- Watt, M.S., V. Xu & M. Bloomberg, 2010. Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential, *Ecological Modeling*, 221(9):1267-1272.

The interaction effect of temperature and drought on seed germination of Cypress (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*)

F. Aliyari¹, A. Soltani², M. Zarafshar^{3*} and A. Sattarian⁴

1- M.Sc. of Forestry, Natural Resources and Geosciences Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran.

2- Assistant professor, Forest science department, Natural Resources and Geosciences Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran.

3- Natural Resources Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, I.R. Iran.

4- Associate Professor, Fisheries and Forestry department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, I.R. Iran.

Received: 03.02.2016

Accepted: 21.07.2016

Abstract

The current experiment was done on Cypress, as one of the most important species in urban forestry, to provide a hydrothermal time model under controlled conditions in a laboratory. The model is designed with respect to stress tolerance thresholds for seed germination. Five different temperature (10, 15, 20, 25, 30 C°) and drought (0, -0.5, -1, -1.5 and -2 MPa) treatments were applied on the seeds. The optimum temperature (To) and basic temperature (Tb) were obtained 21/05 C° and 6/041 C° respectively. The hydrotime constant (θH) for this species was 0/35. The results showed that the decreasing in water potential and temperature caused germination percentage decrease. Temperature and water potential factors had independent and interaction effects significantly on time and percent germination. Finally hydrothermal time model is provided for the species.

Keywords: *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*, Germination, hydrothermal time model, Temperature, Water potential.

* Corresponding author:

Email: mehrdadzarafshar@gmail.com