مدل جوانه‌زنی بذر سرونقره‌ای (*Cupressus arizonica*) در پاسخ به تنش‌های دمایی و خشکی

فاطمه علی‌یاری [۱]، علی سلطانی [۱]، مهرداد زرافشار [۲،*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار جنگلداری، دانشگاه شهرکرد
[۲] استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه علامه محدث نوری نور
[*] پست الکترونیک نویسنده مسئول: Mehrdadzarafshar@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵)

چکیده

در یک جنگل‌کاری اصولی انتخاب گونه‌ی مناسب و سازگار با شرایط محیط، با توان زنده‌مانی بالا و رشد مطلوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لازمه‌ی این انتخاب اصولی پیش‌بینی الگوهای جوانه‌زنی بذر است که از آن می‌توان به مدل زمان- رطوبت- دمایی جوانه‌زنی بذر اشاره کرد. در این تحقیق الگوی رفتاری جوانه‌زنی بذر سرونقره‌ای در چهار تکرار ۵۰ بذری داخل پتری دیش‌های ۱۱ سانتی‌متری و در دستگاه انکوباتور با اعمال پنج سطح تنش خشکی (صفر، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵-، ۲- مگاپاسکال) و دمایی (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درجه سانتی‌گراد) بررسی شد. در این آزمایش دمای بهینه (T_o) و دمای پایه‌ی مورد نیاز جوانه‌زنی (T_b)، مقدار ثابت رطوبت-زمانی (θ_H) و مقدار زمانی-رطوبت-دمایی (θ_{HT}) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که دمای بهینه و پایه لازم برای جوانه‌زنی به ترتیب برابر با ۰/۵ ±۱۹/۲۳ و ۰/۰±۶/۵۴ درجه سانتی‌گراد است. مقدار ثابت رطوبت- زمانی برای این گونه ۰/۱۱±۰/۲۹ می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده عامل دما و پتانسیل آبی به‌صورت مستقل و هم‌زمان بر میانگین زمان جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بذر این گونه اثر می‌گذارد. مقدار زمان- رطوبت- دمایی با توجه به معادله‌ی $\theta_{HT}=[(\Psi-\Psi_{b(g)})(T-T_b)]t_g$ تعیین شد که میزان آن برابر با ۱۲۶/۳ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز (MPa°C.d) با ضریب تبیین ۰/۸۷ به دست آمد. در نهایت کارایی مدل رطوبت-دمایی برای این گونه تأیید شد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جوانه‌زنی، دما، زمانی- رطوبت- دمایی، سرونقره‌ای

مقدمه

در کشور ایران که به‌رغم دارا بودن انواع اکوسیستم‌های خشکی شکننده سرعت تخریب محیط‌زیست بیش از احیا و توسعه‌ی آن است (مجدطاهری و جلیلی، ۱۳۷۵)، علاوه بر حفظ، احیا و توسعه اکوسیستم‌های طبیعی موجود، اجرای راه‌کارهای مبارزه با انواع جلوه‌های فرسایش به‌ویژه مقابله با ریزگردها توسط ایجاد فضای سبز شهری و بین‌شهری، احداث تفرجگاه در اطراف شهرها با اهداف تلطیف هوا و تولید چوب با اجرای جنگل‌کاری اصولی بیش از پیش احساس می‌شود. دریک جنگل‌کاری اصولی با توجه به مزایای زیاد جنگل‌ها باید سعی شود این منابع با اجرای مدیریتی اصولی هر چه بهتر حفظ و توسعه یابند. مشکلات تخریب روزافزون جنگل‌ها در سال‌های اخیر، محققین را واداشته است تا با اعمال روش‌های مدیریت علمی و جامع از کاهش نگران‌کننده سطح و کیفیت این منابع ارزشمند جلوگیری کنند (کنشلو، ۱۳۸۰). امروزه عملیات جنگل‌کاری به‌ویژه با سوزنی‌برگان در مناطق مختلف کشور توسعه چشمگیر یافته است. بر این اساس معمولاً مهم‌ترین اهداف کاشت گونه‌های سوزنی‌برگ در

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

شمال کشور را احیای جنگل‌های تخریب یافته، افزایش کیفیت و غنی‌سازی توده‌های جنگلی برای تولید انبوه چوب‌های صنعتی، افزایش مقدار محصول در واحد سطح و طراحی جنگل‌هایی که دچار خسارت زیاد شده و یا به‌طور کامل تخریب شده‌اند با کمک گونه‌های پیشاهنگ و پرستار و در سایر مناطق کشور ایجاد پارک‌های جنگلی و جنگل‌های حفاظتی برشمرده‌اند (سردابی، ۱۳۷۷). از جمله این سوزنی‌برگان می‌توان به سرونقره‌ای (*Cupressus arizonica*) که از گونه‌های مهم فضای شهری و برون‌شهری است اشاره داشت که به‌طور گسترده‌ای در جنگل‌کاری‌ها و طراحی فضای سبز شهری در مناطق خشک و نیمه‌خشک تا نیمه مرطوب کشور استفاده می‌شود (زارع، ۱۳۸۰). سرونقره‌ای جزو تیره‌ی سروها (*Cupressaceae*) می‌باشد که به‌وسیله‌ی بذر تکثیر می‌یابد، لذا پیش‌بینی رفتار جوانه‌زنی بذرهای این گونه می‌تواند در موفقیت کاشت آن حائز اهمیت فراوان باشد. از آنجا که جوانه‌زنی بذر بیش از هر عامل محیطی دیگر، تحت تأثیر حرارت و رطوبت قرار دارد، می‌توان با ارائه‌ی مدل زمانی- رطوبت- دمایی[1] به پیش‌بینی ظهور ریشه‌چه پرداخت (برادفورد[2]، ۲۰۰۵). در پژوهشی راو و فینچ - ساوج[3] (۲۰۰۳) با استفاده از مدل زمانی- رطوبت- دمایی به توصیف جوانه‌زنی بذر پیاز و هویج در دو درجه حرارت بهینه و بالاتر از آن پرداختند. آن‌ها با یافتن اثر دما روی پتانسیل آبی حداقل، جوانه‌زنی را مورد بررسی قرار داده و مدل آستانه‌ی رطوبتی- دمایی را ارائه کردند. در تحقیقی دیگر موسکولو[4] و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی تغییر در رفتار جوانه‌زنی کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) بر اثر تنش خشکی در پتانسیل‌های اسمزی متفاوت پرداختند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش پتانسیل اسمزی جوانه‌زنی متوقف می‌شود. اثر حرارت و پتانسیل آبی بر جوانه‌زنی به‌ترتیب با مدل‌های دمایی زمانی و رطوبتی زمانی توصیف می‌شوند. مطالعات سلطانی و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که از مدل‌های زمان-دمایی، زمان-رطوبتی و زمانی-رطوبت-دمایی می‌توان برای مدل‌سازی جوانه‌زنی اثرات زوال بذر، پرایمینگ بذر، کمون بذر و همچنین تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن، تعیین پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی و تعیین زمان جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان مختلف استفاده شوند.

با توجه به اهمیت گونه‌ی سرونقره‌ای در جنگل‌کاری کشور و همچنین در دسترس نبودن اطلاعاتی مبنی بر ارائه‌ی مدل رطوبتی دمایی جوانه‌زنی بذر این گونه، در این تحقیق سعی بر آن داشتیم که به سؤالات پیشرو پاسخ دهیم: مناسب‌ترین دما (دمای بهینه) برای جوانه‌زنی بذر گونه‌ی سرونقره‌ای کدام است؟ حداقل دمایی که جوانه‌زنی این گونه سوزنی‌برگ در آن آغاز می‌شود کدام است؟ کمترین پتانسیل آبی که جوانه‌زنی در آن می‌تواند آغاز شود کدام است؟ و آیا می‌توان یک مدل رطوبتی-دمایی زمان را برای جوانه‌زنی این گونه توسعه داد که پیش‌بینی کننده رفتار جوانه‌زنی آن باشد یا خیر؟

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

بذر گونه درختی سرونقره‌ای از مرکز تهیه و تولید بذر درختان جنگلی خزر واقع در شهرستان محمودآباد-آمل تهیه شد. بذرها دارای درجه خلوص ۱۰۰٪ و قوه‌نامیه بیش از ۹۰ درصد بودند و آثار جراحت و آلودگی به قارچ در آن‌ها مشاهده نشد. درصد رطوبت بذور ۱۰٪ اندازه‌گیری شد.

طراحی تیمارها

پنج محلول اسمزی با استفاده از پلی اتیل گلیکول (PEG 6000) و بر اساس فرمول ارائه شده توسط میشل و کافمن[5] (۱۹۷۳) در پتانسیل‌های آبی صفر، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال و در محیط اتاق تهیه شدند. آزمایش جوانه‌زنی بر روی کاغذ فیلتر واتمن از پیش آغشته شده به هر یک از محلول‌های پتانسیل‌های آبی انجام شد. پنجاه بذر قرار گرفته بر روی هر کاغذ در داخل ظرف‌های پتری یک‌بار مصرف ۱۱ سانتی‌متری

[1] Hydrothermal time model
[2] Bradford
[3] Rowse and Finch-savage
[4] Muscolo
[5] Michel and kaufmann

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

حاوی محلول پتانسیل آبی قرار داده شدند. سپس پتری‌دیش‌ها توسط پارافیلم درزگیری شدند.

برای تهیه یک مدل زمانی-رطوبت-دمایی چهار ظرف پتری (تکرار) از هر یک تیمارهای پتانسیل آبی درون انکوباتور تنظیم شده در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بذرها به مدت یک ماه، روز شمار شدند. درصد بذرهای جوانه‌زده در انتهای دوره به‌عنوان قوه‌نامیه بذر در هر تیمار درنظر گرفته شد. میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT[1]) نیز به‌صورت $\sum(t.n)/\sum n$ به‌عنوان نماینده بنیه جوانه‌زنی بذر محاسبه شد که در آن t شماره روزی است که جوانه‌زنی در آن روز خوانده‌شده و n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز tام می‌باشد (برادفورد، ۲۰۰۲).

تجزیه و تحلیل آماری

پس از آزمودن نرمال بودن مقادیر به دست آمده توسط آزمون Kolmogorov-Smitnov و همچنین آزمون همگنی واریانس‌ها (Leven) برای هر تیمار اختلاف شاخص درصد قوه‌نامیه و میانگین زمان جوانه‌زنی تیمارهای رطوبت-دمایی توسط تجزیه واریانس دوطرفه (two-way ANOVA) بررسی شدند. مقادیر درصد به‌صورت آرک‌سینوس انتقال یافتند. مقادیر میانگین درصد جوانه‌زنی با استفاده از آزمون دانکن و با احتمال ۵ درصد مقایسه شد. مقادیر فراوانی تجمعی درصد جوانه‌زنی در هر تیمار انتقال پربیت[2] یافت و نرخ جوانه‌زنی پنجاه درصد محاسبه شد. از این مقادیر برای تعیین دمای بهینه (T_o) جوانه‌زنی در هر تیمار پتانسیل آبی استفاده شد. پس از تعیین دمای بهینه، با استفاده از برازش رگرسیون‌های نرخ‌های جوانه‌زنی برای رسیدن به درصدهای پیش از جوانه‌زنی در دماهای کمتر از دمای بهینه و برون‌یابی معکوس[3] تا قطع محور دما، دمای پایه (T_b) (حداقل دمایی که جوانه‌زنی آغاز می‌شود) به دست آمد. برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدلزمان-دمایی، معادله (۱) استفاده شد (کیو[4] و همکاران، ۲۰۰۶):

معادله ۱:

$$\theta_T (g) = (T - Tb)\, t_g (1)$$

$$GR = (T - Tb) / \theta_T$$

که در این رابطه GR سرعت جوانه‌زنی، θ_T ثابت زمان-دمایی (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 می‌باشد. برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به پتانسیل آبی از مدل زمان- رطوبتی، معادله (۲) استفاده شد (برادفورد، ۲۰۰۲).

معادله ۲:

$$\theta_H = (\psi - (\psi_b (g))t_g$$

$$GR = (\psi - \psi_b)/\theta_H$$

که در این رابطه GR سرعت جوانه‌زنی، θ_H ثابت زمان-رطوبتی (مگاپاسکال 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 (مگاپاسکال) می‌باشد. برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و پتانسیل آبی از مدل زمانی-رطوبت-دمایی، معادله (۳) استفاده شد (برادفورد، ۲۰۰۲). این مدل می‌تواند الگوهای جوانه‌زنی بذرها را در دامنه‌ای از دماها و پتانسیل‌های آبی مختلف توصیف نماید.

معادله ۳:

$$\theta_{HTT} = (\psi - \psi_b)\,(T - T_b)tg$$

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

[1] Mean Germination Time
[2] Probit transform
[3] Reverse extrapolating
[4] Qui

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای پتانسیل آبی و دمایی مختلف بر شاخص‌های جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه برای شاخص‌های درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی نشان داد که تأثیر تیمارهای دما و پتانسیل آبی برای هر دو شاخص معنی‌دار است. همچنین تأثیر هم‌زمان دما و تنش آبی بر هر دو شاخص از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). هم‌راستا با نتایج حاضر تأثیر توأم دما و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف نخود (گنجعلی و همکاران، ۱۳۸۷) گلرنگ (صبوری و رحمانی، ۱۳۹۱) نیز گزارش شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط تنش و بدون تنش خشکی رخ داده است. از سوی دیگر بیشترین درصد جوانه‌زنی در پتانسیل آبی صفر (شاهد) در دماهای بالاتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که البته در دمای ۳۰ درجه دوباره کاهش یافت (جدول ۲). در نگاه کلی، در تمامی تیمارهای دمایی با القاء تنش خشکی میزان درصد جوانه‌زنی به‌طور چشمگیری کاهش یافت و از سوی دیگر در تمامی تیمارهای پتانسیل آبی با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و بعد از آن کاهش یافت. دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم خواب بر ظرفیت جوانه‌زنی و همچنین سرعت جوانه‌زنی بذر تأثیر می‌گذارد. حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنه‌ی خاصی از دماها رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از این دامنه درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد همچنین سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب افزایش می‌یابد و بعد از آن روندی کاهشی نشان می‌دهد (کبراب و موردوچ[1]، ۲۰۰۰) بر اساس نتایج تحقیق حاضر، می‌توان اذعان داشت که حداکثر درصد جوانه‌زنی در گونه سرو خمره‌ایی در دامنه‌ی ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد است چرا که در پایین‌تر و بالاتر از این دامنه درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش یافت. برای این گونه دمای بهینه (T_o) و دمای پایه (T_b) برای جوانه‌زنی به ترتیب ۰/۵±۱۹/۲۳ و ۰/۰± ۶/۵۴ درجه سانتی‌گراد است. طبق نظر برادفورد (۲۰۰۲) انعقاد پروتئین‌ها و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور در دماهای بالاتر از دمای مطلوب هستند. از سوی دیگر تایگرسون[2] و همکاران (۲۰۰۲) کاهش کارایی متابولیکی بذور را از عوامل دیگر کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب گزارش کردند. بر اساس گزارش‌ها ویلیرس[3] (۱۹۷۴) بذرها اغلب در دمای ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌روند و از طرفی در دماهای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد جوانه نمی‌زنند یا از ادامه‌ی رشد سر باز می‌زنند. اغلب گونه‌های درختی در دمای ۱ تا ۵ درجه سانتی‌گراد به‌کندی جوانه می‌زنند و از سوی دیگر بین دمای ۵ تا حدود ۲۰ یا ۲۴ درجه سانتی‌گراد نرخ جوانه‌زنی عادی بوده و به‌صورت خطی به دما وابسته است که هم‌راستا با نتایج تحقیق حاضر است. برای بذر سرونقره‌ای با افزایش دما از ۳۰ درجه سانتی‌گراد اثرات منفی آن بر صفات جوانه‌زنی گونه سرونقره‌ای ی مشهود است. بررسی روند میانگین درصد جوانه‌زنی در طول روزهای آزمایش برای گونه سرو خمره‌ایی و در تمامی تیمارهای پتانسیل آبی حاکی از آن است که بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در مقابل کمترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. روند درصد جوانه‌زنی در بین دماهای مختلف با اعمال پتانسیل‌های آبی مختلف مشابه بود (شکل ۱).

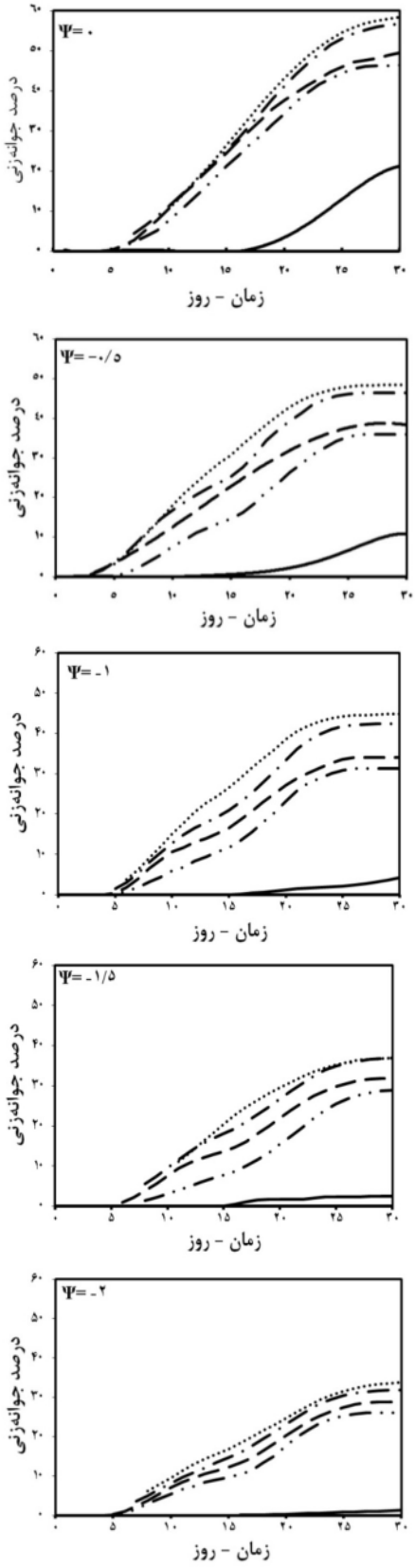
طبق گزارش‌ها ژو[4] و همکاران (۲۰۰۶) با کاهش در پتانسیل آب کاهش چشم‌گیری در سرعت و میزان جوانه‌زنی به وجود می‌آید. تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که عامل پتانسیل آبی به‌صورت مستقل و هم‌زمان با دما بر جوانه‌زنی سرونقره‌ای مؤثر است که در این بین با کاهش پتانسیل آبی صفات جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

تنش خشکی به‌عنوان عامل ایجادکننده‌ی اختلال در فیزیولوژی گیاه و عملکرد جوانه‌زنی بذرها مطرح می‌باشد.

[1] Kebreab and Murdoch

[2] Thygerson
[3] Villiers
[4] Zhu

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]



شکل ۱- مقایسه‌ی روند درصد جوانه‌زنی بین تیمارهای دمایی در شرایط کنترل و تنش‌های متفاوت خشکی. خطوط ممتد تیمار دمای ۱۰، خط‌چین ۱۵، نقطه‌چین ۲۰، خط نقطه‌چین ۲۵ و خط دو نقطه‌چین ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

در تحقیق حاضر با کاهش شدت پتانسیل آبی تأثیرات منفی آن بر شاخص‌های جوانه‌زنی مشاهده شد ولی در پتانسیل اسمزی ۲- مگاپاسکال در دامنه‌ی دمایی ۳۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی متوقف نشد لذا می‌توان بیان داشت که پتانسیل اسمزی ۲- مگاپاسکال حد مرگ برای بذر این گونه نمی‌باشد. بدون شک در صورتی که شدت تنش اسمزی شدیدتر شود توقف رشد و سرانجام مرگ گیاهچه قابل انتظار است (سینگ و پاتل[1]، ۱۹۹۶)

در همین راستا نتایج مقایسه‌ی میانگین زمان جوانه‌زنی نشان داد که بیشترین مدت زمان جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و در پتانسیل آبی ۲- مگاپاسکال و کمترین زمان جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل آبی صفر مگاپاسکال است.

نتایج تجزیه روابط زمانی- رطوبت-دمایی گونه‌ی سرونقره‌ای و ارائه مدل آن

با استفاده از حل معادله‌ی دما- زمان برای پتانسیل صفر مگاپاسکال در گونه‌ی سرونقره‌ای ، دمای بهینه (T_o) و دمای پایه (T_b) به ترتیب ۰/۵±۱۹/۲۳ و ۰/۰± ۶/۵۴ به دست آمد. پتانسیل آبی پایه برای رسیدن به درصدهای ۳۰ و ۵۰ و ۸۰ درصد محاسبه شد که به ترتیب برابر با ۱/۵۸- و ۱/۲۹- و ۰/۵۸- مگاپاسکال است. تفاوت معنی‌داری بین شیب خطوط رگرسیون تغییرات نرخ جوانه‌زنی در طول گرادیانت پتانسیل آبی دیده نشد (θ_H=۰/۱۱ ± ۰/۲۹). در این گونه تنها از نرخ جوانه‌زنی ۳۰ درصد و پتانسیل آبی پایه $\Psi_{b(30)}$ برای محاسبه مدل رطوبت-دمایی استفاده شد. مقدار ثابت رطوبت-دمایی برای گونه‌ی سرونقره‌ای ۱۲۶/۳ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز (MPa°C.d) می‌باشد. ضریب تبیین ۰/۸۷ و RMSE (Root Mean Square Error) برابر با ۰/۰۴ به دست آمد (جدول ۳). ضریب تبیین (R^2) به دست آمده (۰/۸۷) نشان‌دهنده‌ی این است که این مدل به‌خوبی توانسته است جوانه‌زنی را توصیف کند.

[1] Singh and Patel

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

جدول ۱- تجزیه واریانس دوطرفه‌ی شاخص درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی (٪)			میانگین زمان جوانه‌زنی		
		میانگین مربعات خطا	F	*P*-value	میانگین مربعات خطا	F	*P*-value
پتانسیل آبی	۴	۰/۰۸۳۴۸	۵/۴۸	۰/۰۰	۱۴۲/۸۶	۱۵/۴۰	۰/۰۰۰
دما	۴	۲/۷۴۶۷۷	۱۸۰/۳۳	۰/۰۰	۱۰۲/۳۰	۱۱/۰۳	۰/۰۰۰
پتانسیل آبی×دما	۱۶	۰/۰۴۲۷۵	۲/۸۱	۰/۰۰۱	۹۴/۸۸	۱۰/۲۳	۰/۰۰۰
خطا	۷۵	۰/۰۱۵۲۳			۹/۲۷		

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین درصد جوانه‌زنی بین تیمارهای مختلف دمایی و پتانسیل آبی

دما (سانتی‌گراد) / پتانسیل آبی (مگاپاسکال)	۰	-۰/۵	-۱	-۱/۵	-۲
۱۰	۱۶/۵۰±۱/۹۱efgh	۷/۲۵±۳/۰۹i	۳/۲۵±۴/۰۳hi	۱/۲۵±۱/۲۵hi	۰/۰۰±۰/۰۰j
۱۵	۳۶/۵۰±۱/۹۱abcde	۲۷/۲۵±۳/۰۹cdef	۲۳/۰۰±۴/۳۲abcd	۲۱/۰۰±۱/۶۳abcde	۱۸/۷۵± ۱/۲۵fgh
۲۰	۴۰/۵۰±۱/۹۱a	۳۱/۲۵±۳/۰۹abcde	۲۷/۰۰±۴/۳۲abc	۲۵/۰۰±۱/۶۳abcde	۲۲/۷۵±۲۵۱efgh
۲۵	۳۹/۵۰±۱/۹۱ab	۳۰/۲۵±۳/۰۹abcde	۲۶/۰۰±۴/۳۲abc	۲۴/۰۰±۱/۶۳abcd	۲۱/۷۵±۱/۲۵efgh
۳۰	۳۴/۰۵±۱/۹۱abcde	۲۵/۲۵±۳/۰۹defg	۲۱/۰۰±۴/۳۲abcde	۱۹/۰۰±۱/۶۳bcdef	۱۶/۷۵±۱/۲۵ghi

حروف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت معنی‌دار آماری بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد است. اعداد میانگین± بیانگر انحراف معیار می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه‌ی روابط زمان- رطوبت- دمایی گونه‌ی سرونقره‌ای

RMSE	R_2	θ_{HT}	θ_H	$\Psi_{b(80)}$	$\Psi_{b(50)}$	$\Psi_{b(30)}$	T_b	T_o
۰/۰۴	۰/۸۷	۱۲۶/۳	۰/۲۹± ۰/۱۱	-۰/۵۸	۱/۲۹	-۱/۵۸	۶/۵۴±۰/۰	۱۹/۲۳±۰/۵

واتّ[1] و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند ثابت زمانی- رطوبت- دمایی برای دو گونه Pinus *radata* و *Buddleja dauidii* به ترتیب حدود ۱۶۵ و ۱۰۵ مگاپاسکال درجه در روز بود. راو و فینچ- ساوج (۲۰۰۳) مقادیر رطوبت-دمایی را برای پیاز و هویج به ترتیب حدود ۴۸ و ۴۷ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی رطوبت-دمایی نظریه‌ای فراهم می‌کند تا اثر درجه حرارت و پتانسیل آبی را بر جوانه‌زنی تحت شرایط کنترل شده یا طبیعی، به‌صورت کمی بیان کرد. این پیش‌بینی اجازه می‌دهد پیشرفت جوانه‌زنی در سراسر محیط‌های متغیر که در آن پتانسیل آبی و درجه حرارت نوسان دارد جمع‌بندی شود که کاربرد این مدل‌ها در ایران کمتر مشاهده شده است و می‌توان از این مدل‌ها بیشتر در پژوهش‌های علوم بذر و به‌خصوص

[1] Watt

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

در واکنش جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب استفاده نمود که در این پژوهش اهمیت این مدل در مورد گونه سوزنی برگ سرونقره‌ای ی مورد تأیید قرار گرفت.

منابع

زارع، ح. ۱۳۸۰. گونه‌های بومی و غیربومی سوزنی‌برگ در ایران. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ۴۹۳ ص.

سردابی، ح. ۱۳۷۷. بررسی سازگاری گونه‌های مختلف اکالیپتوس و کاج در مناطق ساحلی و کم ارتفاع شرق استان مازندران. نشریه جنگل و مرتع، ۱۹۳: ۱۳۳-۱۳۳.

سلطانی، ی.، اکرم قادری، ف. و سلطانی، ا. ۱۳۸۷. کاربردهای مدل‌سازی جوانه‌زنی در واکنش به حرارت و رطوبت در پژوهش‌های بذر، اولین کنفرانس تکنولوژی و علوم بذر در ایران، گرگان.

کنشلو، ه. ۱۳۸۰. جنگل‌کاری در مناطق خشک. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ۵۱۶ ص.

گنجعلی، ا.، پارسا، م. و خطیب، م. ۱۳۸۷. کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های نخود تحت تأثیر رژیم‌های دمایی و تنش خشکی. پژوهش کشاورزی، آب و خاک و گیاه در کشاورزی، ۷(۱): ۸۸-۷۷.

صبوری، ح. و رحمانی، ز. ۱۳۹۱. بررسی اثر دما و پتانسیل اسمزی بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی در گلرنگ. دومین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

مجدطاهری، ح. و جلیلی، ع. ۱۳۷۵. بررسی مقایسه‌ای اثرات جنگل‌کاری با کاج الدریکا و اقاقیا روی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی زیراشکوب (منطقه مورد مطالعه: پارک جنگلی چیتگر). پژوهش و سازندگی، ۳۲: ۱۶-۶.

Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50: 248–260.

Bradford, K.J. 2005. Threshold models applied to seed germination ecology. New Phytologist, 165: 338–341.

Kebreab, E., and Murdoch, A.J. 2000. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanches aegyptiaca* seeds. Seed Science Research, 10(2): 127-133.

Michel, B.E., and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51(5): 914–916.

Muscolo, A., Panuccio, M.R., and Sidari, M. 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., Bai, Y., Coulman, B., and Romo, J.T. 2006. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomereta* L.) under alternating temperature regimes. Seed Science Research, 16(4): 261-271

Rowse, H.R., and Finch-Savage, W.E. 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.

Singh, J., and Patel, A.L. 1996. Water status, gaseous exchange, proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. Annals of Biology, 12L|: 77-81.

Thygerson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., HansenL, D., Pendleton, R.L., and Booth, D.T. 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). Thermochimica Acta, 394(1): 211-217.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

Villiers, T.A. 1974. Seed aging: chromosome stability and extended viability of seeds stored fully imbibed. Plant Physiology, 53(6): 875-8.

Watt, M.S., Xu, V., and Bloomberg, M. 2010. Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential. Ecological Modelling, 221(9): 1267-1272.

Zhu, J., Kang, H., Tan, H., and Xu, M. 2006. Effects of drought stresses induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris var. Mongolia* seeds from natural and plantation forests on sandy land. Journal of Forest Research, 11(5): 319–328.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]

Iranian Journal of Seed Research, Vol: 2(2), 2016

Germination Model for Arizona Cypress (*Cupressus arizonica*) in Response to Temperature and Drought Stress

Fatemeh Aliyari[1], Ali Soltani[1], Mehrdad Zarafshar[2, *]

[1] *M.Sc. Student and Assistant Professor of Forestry, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran*
[2] *Assistant Professor, Department of Natural Resources, Allameh Mohaddes Nouri University, Nour, Iran*
[*]Corresponding author, E-mail address: Mehrdadzarafshar@gmail.com

(Received: 2015.09.20 ; Accepted: 2015.12.26)

Abstract

Select the appropriate tree species and compatible in harsh environmental conditions, with a high survival rate and optimal growth is very important in the principled forestation projects. Offering moisture - temperature - time seed germination model is one of the solution to the prediction of seed germination patterns as in this study, germination behavior model in four replications of 50 seeds of *Cupressus arizonica* (dishes 11cm) on the incubator was examined by applying five levels of water stress (0, -0.5, -1, -1.5, -2 MPa) and temperature treatments (10, 15, 20, 25, 30 °C). The results showed that the optimum temperature (To) and the basic temperature (Tb) for germination is 19.23±0.5 and 6.54 ± 0.0 °C respectively, and amount of the hydrotime constant (θ_H) for this species is 0.29±0.11. According to the results, temperature and water potential factors and their interaction affected significantly on time and percent germination. Value of the hydrothermal time model was determined by using $\theta_{HT}= [(\Psi-\Psi_{b\,(g)})\,(T-T_b)]$ tough model that its rate was 126.3 MPa°C. d with 0.87 coefficients of determination.

***Keywords**: Water stress, Germination, Temperature, Cupressus arizonica, Hydrothermal time*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23831251.1394.2.2.13.7]
[DOI: 10.29252/yujs.2.2.113]