مدل‌سازی جوانه‌زنی بذر سرو خمره‌ای (*Platycladus orientalis* L.) در پاسخ به برهم‌کنش دما و پتانسیل آب

فاطمه علی یاری [۱]، علی سلطانی [۲]، مهرداد زرافشار [۳،*]

[۲،۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار دانشگاه شهرکرد
[۳] دانش‌آموخته مقطع دکتری، دانشگاه تربیت مدرس
[*] پست الکترونیک نویسنده مسئول: mehrdadzarafshar@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰)

چکیده

دسترسی به اطلاعاتی که بتواند دانش ما را در ارتباط با واکنش بذر به میزان رطوبت و درجه حرارت بیفزاید در تصمیم‌گیری‌های دقیق زمان کاشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق مدل‌سازی رطوبتی- دمایی- زمانی جوانه‌زنی بذر گونه سرو خمره‌ای، یکی از مهم‌ترین درختان جنگل‌کاری شده در ایران، تحت پنج شرایط دمایی (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و پنج شرایط تنش اسمزی (صفر، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده منابع‌طبیعی شهرکرد انجام پذیرفت. دمای بهینه جوانه‌زنی برای این گونه ۲۳/۱۲ درجه سانتی‌گراد و دمای پایه ۸/۱۸ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. ضمناً مقدار ثابت آبی- زمانی (θ_H) برای گونه سرو خمره‌ای ۰/۴۵ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که با کاهش پتانسیل آبی و افزایش درجه حرارت، درصد جوانه‌زنی به‌صورت خطی سیری نزولی پیدا می‌کند. دو فاکتور محیطی یادشده همچنین به‌صورت هم‌زمان جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار داد. یک مدل رطوبتی-دمایی-زمانی برای گونه سرو خمره‌ای ارائه شد که مقدار ثابت آن برابر با ۱۰۵/۱ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز (MPa°C.d) به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: سرو خمره‌ای، جوانه‌زنی، دمای بهینه، دمای پایه، مدل رطوبتی- دمایی- زمانی

مقدمه

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). از سده‌های گذشته درختان سوزنی‌برگ به دلایل کاربردی و سریع‌الرشد بودن موردتوجه قرار گرفته‌اند (رضایی، ۱۳۷۹). ارزش‌های منظرگاهی، مقاومت در برابر آلودگی‌های محیطی و انعطاف‌پذیری زیستی سبب شده تا سوزنی‌برگان انتخاب اول در پروژه‌های جنگل‌کاری باشند. از میان درختان سوزنی‌برگی که در جنگل‌داری ایران استفاده می‌شوند، بدون در نظر گرفتن کاج الدار (کاج تهران)، سه گونه زربین، سرو نقره‌ای و سرو خمره‌ای رواج بیشتری دارند. کشت سرو خمره‌ای با نام علمی *Platycladus orientalis* و از خانواده سروها (Cupressaceae) در تمام اقلیم‌های حیاتی کشور شایع است و به‌منظور

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

ایجاد فضای سبز، احداث پارک‌ها و تفرجگاه‌های جنگلی در مناطق سردسیر و نیمه‌سردسیر و مناطق مرکزی خارج از شمال استفاده می‌شود (پور عسگری و پورلزرجانی، ۱۳۸۴). کاشت گونه یادشده در استان آذربایجان غربی و شرقی و تهران، خراسان، سمنان، لرستان، قم، یزد، فارس، کردستان، چهارمحال و بختیاری و همدان با موفقیت همراه بوده است (سلطانی، ۱۳۷۶). به‌طوری‌که اشاره شد، از آن برای ایجاد فضای سبز شهری در اقلیم زاگرس نیز استفاده می‌شود. این گونه تقریباً در تمام موارد توسط بذر تکثیر می‌شود. لذا رخداد یک جوانه‌زنی موفق به‌منظور تکثیر آن از اهمیت بالایی برخوردار است. قدرتمند بودن نهال‌های کاشته‌شده از عوامل مهم موفقیت هر جنگل‌کاری است (Lavendar, 1984). پیش‌بینی رفتار جوانه‌زنی و دانش الگوهای فصلی ظهور ریشه‌چه و جوانه‌زنی برای مدیریت جنگل‌کاری و نهالستان‌ها اهمیت خاصی دارد (Bradford *et al*., 2000).

با توجه به اینکه هر گونه گیاهی نیازهای خاص خود را برای جوانه‌زنی دارد و این امر درنتیجه سازگاری آن گونه به محیط‌های ناهمگن و متغیر حاصل می‌گردد (Cerabolini *et al*., 2004)، لذا آگاهی از رفتار جوانه‌زنی بذور در طی فرآیند اهلی‌سازی گیاه و خصوصاً گونه‌های بومی وحشی که دسترسی به بذور آن‌ها مشکل و نیازهای جوانه‌زنی آن‌ها ناشناخته است، ضروری است (Kharkwal *et al*., 2002). جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل استقرار گیاهچه می‌باشد و اهمیت زیادی در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارد و به‌شدت تحت تأثیر حرارت و پتانسیل آبی است و می‌تواند با یک مدل که بر پایه زمان- گرمابی است؛ توصیف شود. بر اساس مفهوم رطوبتی- دمایی- زمانی می‌توان الگوی جوانه‌زنی بذر را پیش‌بینی کرد (Allen, 2000, Bradford, 2005). اثر حرارت و پتانسیل آبی بر جوانه‌زنی به‌ترتیب با مدل زمان-حرارتی[1] و زمان-آبی[2] توصیف می‌شوند. Boydak و همکاران (۲۰۰۳) با اعمال ۵ سطح تنش خشکی (۰، ۲-، ۴-، ۶-، ۸- بار) بر بذر گونه *Pinus brutia* Mill نشان دادند که با کاهش پتانسیل آب کاهش چشم‌گیری در درصد جوانه‌زنی، سرعت و میزان جوانه‌زنی به وجود می‌آید. Zhu و همکاران (۲۰۰۶) در ارتباط با گونه *Pinus sylvestris* var *mongolica* با ۶ سطح رطوبتی نتایجی مشابه با تحقیقات Boydak و همکاران (۲۰۰۳) به دست آوردند. Bravo و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییر در رفتار جوانه‌زنی *Pinus pinea* L. بر اثر تنش خشکی در پتانسیل‌های اسمزی متفاوت (۰/۳-، ۰/۵۸-، ۰/۸-، ۱/۰۵- مگاپاسکال) پرداختند. آن‌ها نشان دادند با افزایش پتانسیل اسمزی جوانه‌زنی متوقف شده است. Falleri (۱۹۹۴) با اعمال تنش خشکی (۰ تا ۸- بار) در شرایط دمایی ۲۲ درجه سانتی‌گراد بر بذر *Pinus pinaster* به این نتیجه رسید که کاهش در پتانسیل اسمزی، کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و نرخ جوانه‌زنی ایجاد می‌کند. Tilki و Dirik (۲۰۰۷) سه گونه کاج *Pinus brutia* را در معرض دو تیمار دمایی ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دو تنش خشکی ۰/۲- و ۰/۴- مگاپاسکال قرار دادند. طبق نتایج آن‌ها به‌طورکلی جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود و همچنین با کاهش در پتانسیل اسمزی جوانه‌زنی روندی نزولی پیدا کرد. احمدلو و همکاران (۱۳۸۹) به‌منظور بررسی اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی بذر، ۵ سطح رطوبتی (۰، ۲-، ۴-، ۶-، ۸- بار) روی کاج بروسیا (*Pinus brutia* Ten.) و کاج حلب (*P. halepensis* Mill.) 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 بنیه بذر مشاهده شد. Soltani (۲۰۱۱) با شمارش روزانه تعداد جوانه‌های

[1] Thermal time

[2] Hydro-time

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

بذر *Haloxylon persicum* (Chenopodiaceae) کشت داده‌شده در ۳۵ محیط رطوبتی– دمایی در محیط آزمایشگاهی، نشان داد که درجه حرارت و پتانسیل آبی به‌صورت قابل‌توجهی جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پتانسیل آبی ۱/۵- مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی را به کمتر از یک‌چهارم در شرایط بهینه کاهش می‌دهد و جوانه‌زنی در ۳- مگاپاسکال متوقف می‌شود. همچنین اگر پتانسیل آبی از صفر به ۱/۵- مگاپاسکال کاهش پیدا کند؛ مقادیر حرارت پایه از ۵/۴ به ۶/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

با عنایت به اهمیت گونه سرو خمره‌ایی در فعالیت‌های جنگل‌کاری در ایران به‌ویژه در حیطه زاگرس و عدم ارائه مدل رطوبتی- دمایی- زمانی برای این گونه، تحقیق حاضر در نظر دارد که مناسب‌ترین دما (دمای بهینه) برای جوانه‌زنی بذر گونه سرو خمره‌ای و از سوی دیگر حداقل دمایی که جوانه‌زنی این گونه سوزنی‌برگ در آن آغاز می‌شود را به دست آورد، همچنین آستانه تحمل این گونه نسبت به تغییرات پتانسیل آبی را محاسبه کند و یک مدل هیدروترمال زمانی را برای جوانه‌زنی این گونه توسعه داده که پیش‌بینی‌کننده رفتار جوانه‌زنی آن باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

بذر گونه درختی *Platycladus orientalis* از مرکز تهیه و تولید بذر درختان جنگلی خزر واقع در جاده محمودآباد–آمل (نزدیک روستای کلوده) تهیه شد. بذرها دارای قوه‌نامیه بیش از نود درصد بوده و هیچ گونه آثار آفت و بیماری در آن‌ها دیده نمی‌شد. این تحقیق در سال ۱۳۹۲؛ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده منابع طبیعی شهرکرد انجام شد. آزمایش‌های اولیه نشان دادند که درصد رطوبت بذرها شش درصد می‌باشد.

نحوه اعمال تیمارها

برای به دست آوردن یک مدل رطوبتی- دمایی- زمانی (Gummerson, 1986; Bradford, 1995) پنج محلول اسمزی صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال با استفاده از پلی اتیل گلیکول (PEG 6000) طبق فرمول ارائه شده توسط Michel و Kaufmann (۱۹۷۳) تهیه شد. بذرها در چهار تکرار پنجاه‌تایی در پنج سطح دمایی (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) بر روی کاغذهای آغشته به هریک از محلول‌های پتانسیل آبی داخل پتری دیش‌های ۱۱ سانتی‌متری (بذرها و پتری‌دیش‌ها از قبل ضدعفونی شده بودند) و درون ماشین‌های جوانه‌زنی (انکوباتور یخچال‌دار) در شرایط تاریکی کشت داده شدند. بذرها به مدت یک‌ماه روزشمار شدند. درصد بذرهای جوانه‌زده در انتهای دوره به‌عنوان قوه نامیه بذر در هر تیمار در نظر گرفته شد. میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT)[1] نیز به‌صورت $\sum(t.n)/\sum n$ به‌عنوان نماینده بنیه جوانه‌زنی بذر محاسبه شد که در آن tشمار روزی است که جوانه‌زنی در آن روز خوانده شده و n تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز tام می‌باشد (Bradford, 2002).

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای هر گونه اختلاف پارامترهای درصد قوه نامیه و میانگین زمان جوانه‌زنی تیمارهای مدل رطوبتی– زمانی- دمایی توسط تجزیه واریانس دوطرفه[2] بررسی شدند. مقادیر درصد به‌صورت آرک سینوس تبدیل شدند. مقادیر فراوانی تجمعی درصد جوانه‌زنی در هر تیمار تبدیل پروبیت[3] 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

[1] Mean Germination Time
[2] Two-way ANOVA
[3] probit transform

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

به درصدهای پیش از جوانه‌زنی در دماهای کمتر از دمای بهینه و برون‌یابی معکوس[1] تا قطع محور دما، دمای پایه (T_b) (حداقل دمایی که جوانه‌زنی آغاز می‌شود) به دست آمد.

نرخ‌های جوانه‌زنی برای درصدهای جوانه‌زنی ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصد برای هر یک از تیمارهای دمایی به‌دست آمد. رگرسیون این خطوط در مقابل محور پتانسیل آبی به‌دست آمد و با محاسبه معکوس شیب این خطوط رگرسیون در صورت عدم تفاوت معنی‌دار با یکدیگر (t تست) مقدار ثابت آبی زمانی[2] (تتا) θ_H به دست آمد. همچنین محل تلاقی هر یک از این خطوط با محور پتانسیل آب، پتانسیل آبی پایه برای آن درصد جوانه‌زنی (g) را به دست داد. ($\Psi_{b(g)}$). پتانسیل‌های آبی بیشتر از این مقدار، درصدهای جوانه‌زنی (g) را سبب می‌شود. کمی‌سازی واکنش نرخ جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل زمان- گرمابی، از رابطه ۱ استفاده شد (Qui *et al*., 2006).

رابطه ۱:

$$\theta_T (g) = (T - Tb)\, t_g \text{ OR } GR = (T - Tb) / \theta_T$$

که در این رابطه GR سرعت جوانه‌زنی، θ_T ثابت مدل زمان - گرمابی (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 کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به پتانسیل آبی از مدل رطوبتی– زمانی- دمایی از رابطه ۲ استفاده شد (Gummerson, 1986).

رابطه ۲:

$$\theta_H = (\Psi - \Psi_b (g))t_g \text{ OR } GR = (\psi - \psi_b)/\theta_H$$

که در این رابطه، θ_H ثابت مدل رطوبتی– زمانی- دمایی (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 آب‌پایه (مگاپاسکال) می‌باشد. برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و پتانسیل آبی از مدل رطوبتی- دمایی- زمانی تایم از رابطه ۳ استفاده شد (Bradford, 2002). این مدل می‌تواند الگوهای جوانه‌زنی بذرها را در دامنه‌ای از دماها و پتانسیل‌های آبی مختلف توصیف نماید.

رابطه ۳:

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

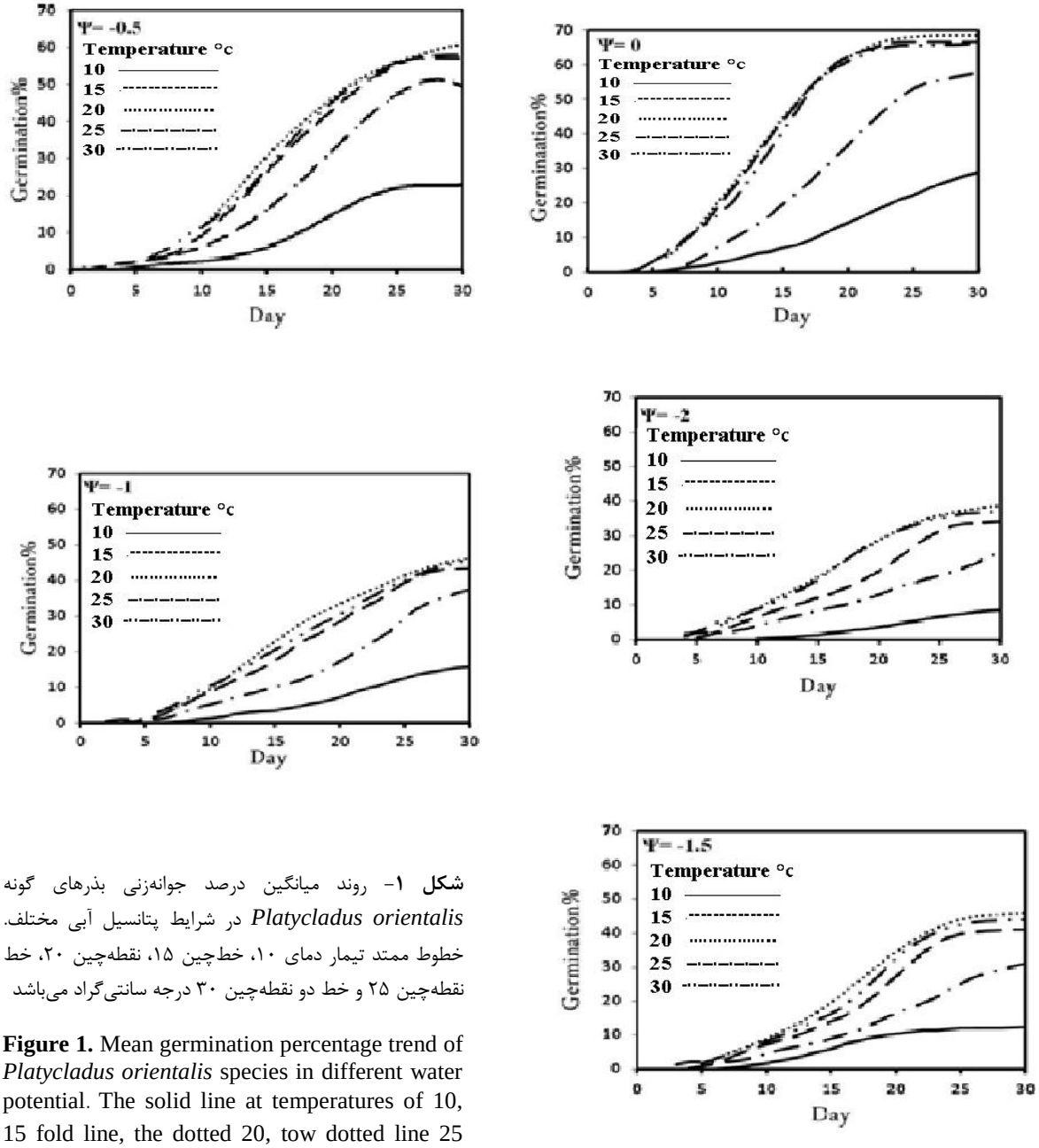
که در این رابطه θ_{HTT} ثابت رطوبتی- دمایی- زمانی (مگاپاسکال در درجه سانتی‌گراد در روز)، T دمای محیط و T_b دمای پایه (درجه سانتی‌گراد)، ψ پتانسیل آب، ψ_b پتانسیل آب‌پایه (مگاپاسکال) می‌باشد. این تابع واکنش جوانه‌زنی در دماهای زیرمطلوب و در پتانسیل‌های آبی مختلف را به‌خوبی توصیف می‌کند.

نتایج

بر اساس نتایج مقایسه میانگین روند جوانه‌زنی در تیمارهای آبی مختلف، بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل ۱).

[1] reverse extrapolating
[2] hydrotime constant

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]



شکل ۱- روند میانگین درصد جوانه‌زنی بذرهای گونه *Platycladus orientalis* در شرایط پتانسیل آبی مختلف. خطوط ممتد تیمار دمای ۱۰، خط‌چین ۱۵، نقطه‌چین ۲۰، خط نقطه‌چین ۲۵ و خط دو نقطه‌چین ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد

Figure 1. Mean germination percentage trend of *Platycladus orientalis* species in different water potential. The solid line at temperatures of 10, 15 fold line, the dotted 20, tow dotted line 25 and the dotted line is 30 ° C.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

پس از تیمار دمایی ۲۰ درجه، بالاترین مقادیر درصد جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، سپس دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. کم‌ترین میزان جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد ثبت شد. هم‌زمان با کم شدن پتانسیل آبی از صفر تا ۲- مگاپاسکال درصد جوانه‌زنی رو به کاهش بوده و منحنی‌های جوانه‌زنی شیب کمتری نشان دادند.

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که دما و پتانسیل آبی به‌طور مستقل و هم‌زمان بر درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارند (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس شاخص‌های درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی در شرایط مختلف دما و پتانسیل آبی

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

منبع تغییرات Source of variations (SV)	جوانه‌زنی Germination%			متوسط زمان جوانه‌زنی Mean germination time		
Water potential (4)	MSE	F	P	MSE	F	P
	0.08	6.69	0.00	163.57	63.15	0.00
Temperature (4)	1.18	96.07	0.00	25.38	9.80	0.00
W.p×Temp. (16)	0.14	11.86	0.00	70.29	27.14	0.00
Error (75)	0.01			2.59		

نتایج مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی

طبق نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی در گونه سرو خمره‌ای (جدول ۲) پتانسیل آبی صفر مگاپاسکال به‌طورکلی و در تمامی دماها بیشترین درصد جوانه‌زنی را دارا می‌باشد. همچنین دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بعد از آن دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد جوانه‌زنی روی داده است.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

جدول ۲- مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی بذر سرو خمره‌ای تحت شرایط دمایی و رطوبتی مختلف

Table 2. Comparison of the mean percentage of seed germination under different conditions of moisture and temperature

W.P / T	0	-0.5	-1	-1.5	-2
10	22.75±8.6f	9.75±6.8j	14.25±0.95i	15±1.15i	0±0k
15	31.5±8.38c	27.25±3.09d	35±1.41b	31.25±4.19c	18.75±1.25fg
20	40.5±1.91a	31.25±3.09c	37±1.41ab	33±4.54bc	22.75±1.25f
25	39.5±1.91a	30.25±3.09c	38±1.41a	34.25±4.19b	21.75±1.25f
30	31.5±4.43c	25.25±3.09e	32±1.41c	28.25±4.19d	16.75±1.25h

حروف مشترک لاتین نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۵٪ به‌وسیله آزمون چند دامنه دانکن می‌باشد.

The common Latin letters indicate no significant difference at the 95% level by Duncan test

با استفاده از حل معادله دما- زمان برای پتانسیل صفر مگاپاسکال، دمای بهینه (T_o) برابر با ۲۳/۱۲±۰/۰ و دمای پایه (T_b) ۸/۱۸±۰/۲ به‌دست آمد. پتانسیل آبی برای رسیدن به درصدهای ۳۰ و ۵۰ و ۸۰ درصد به‌ترتیب برابر با ۱/۰۲- و ۰/۸۵- و ۰/۳۳- برآورد شد. در طول تغییرات پتانسیل، تفاوت معنی‌داری بین شیب خطوط رگرسیون تغییرات نرخ جوانه‌زنی در طول گرادیانت پتانسیل آبی دیده نشد (۰/۱۱ ±۰/۴۵). در این گونه به علت دارا بودن نرخ جوانه‌زنی بالا، از نرخ جوانه‌زنی ۵۰ درصد و پتانسیل آبی ۵۰ ($\Psi_{b(50)}$) استفاده شد و مقدار ثابت رطوبتی- دمایی- زمانی ۱۰۵/۱ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز (MPa°C.d) به دست آمد. با مقایسه این مدل با مقادیر به‌دست‌آمده از جوانه‌زنی بذرها به ضریب تبیین R_2 برابر با ۰/۸۷ و RMSE ۰/۰۶ به‌دست آمد. (جدول ۳).

جدول ۳- تخمین پارامترهای مدل رطوبتی- دمایی- زمانی جوانه‌زنی

Table 3. Estimated parameter of hydrothermal time model

T_o	T_b	$\Psi_{b(30)}$	$\Psi_{b(50)}$	$\Psi_{b(80)}$	θ_H	θ_{HT}	R_2	RMSE
23.12±0.0	8.18±0.2	-1.02	-0.85	-0.33	0.45±0.11	105.1	0.87	0.06

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین دما برای جوانه‌زنی، ۲۳/۱۲ درجه سانتی‌گراد است. همچنین در دمای ۸/۱۸ درجه سانتی‌گراد کم‌ترین درصد جوانه‌زنی رخ داده است. ناقدی‌نیا و رضوانی‌مقدم (۱۳۸۸) نیز برای گیاه کرامپ (*Crambe kotschyana*) بیشترین سرعت جوانه‌زنی را در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. همچنین Kazerooni و همکاران (۲۰۱۲) بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر کاهوی خاردار (*Lactuca Serriola*) را در دمای ۱۵

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آوردند. دمای پایه موردنیاز برای جوانه‌زنی سرو خمره‌ای برابر با ۸/۱۸±۰/۲ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. همچنین دمای بهینه جوانه‌زنی برابر با ۰/۰± ۲۳/۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

دماهای بالا و پایین به‌طور نامطلوبی جوانه‌زنی و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Van Den Berg & Zeng, 2006). پتانسیل آبی پایه برای رسیدن به ۵۰٪ ($\Psi_{b(50)}$)، ۳۰٪ ($\Psi_{b(30)}$) و ۸۰٪ ($\Psi_{b(80)}$) جوانه‌زنی در سرو خمره‌ای به‌ترتیب ۰/۸۵، ۱/۰۲، ۰/۳۳- مگاپاسکال به‌دست آمد. این اعداد نشان‌دهنده کم‌ترین پتانسیل آبی هستند که جوانه‌زنی در آن‌ها می‌تواند اتفاق بیفتد. ضریب تبیین با کم‌شدن پتانسیل آبی جوانه‌زنی نیز سیری نزولی پیدا می‌کند. این نتایج با گزارش‌های احمدلو و همکاران (۱۳۹۰) مشابه است. طبق نتایج آن‌ها با کاهش پتانسیل آبی، کاهش معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذر دو گونه کاج بروسیا و کاج حلب مشاهده شد.

Bravo و همکاران (۲۰۱۱) بر گونه کاج سنگی (*Pinus pinea* L.)، Zhu و همکاران (۲۰۰۶) روی *Pinus Sylvestris* var *mongolica* و Boydak و همکاران (۲۰۰۳) بر *Pinus brutia* Mill نشان دادند که با کاهش در پتانسیل آب کاهش چشم‌گیری در درصد جوانه‌زنی دیده می‌شود. آل ابراهیم و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی سطوح مختلف تنش خشکی بر بذر آویشن (*Thymus vulgaris*) به این نتیجه رسیدند که افزایش خشکی به میزان قابل‌توجهی درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. دلیل این کاهش جوانه‌زنی را می‌توان این‌گونه بیان کرد که اگر در مرحله‌ای از رشد یا تمام دوره رشد، آب موردنیاز گیاه فراهم نشود، گیاه تحت تنش خشکی قرارگرفته و بخشی از فعالیت فیزیولوژیک آن مختل می‌شود. در این شرایط میزان آب درون بافت‌ها و سلول‌های گیاهی به‌اندازه‌ای کاهش می‌یابد که روند رشد گیاه دچار رکود می‌شود (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۶). در شرایط تنش خشکی محتویات زیادی در اثر تخریب غشا از سلول خارج می‌شود. تنش خشکی به‌عنوان عامل ایجادکننده اختلال در فیزیولوژی گیاه بر روی عوامل رشد گیاه و جوانه‌زنی بذرها اثر می‌گذارد (Colom & Vazzana, 2001).

نتایج تجزیه واریانس مقادیر درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی و تأثیر دما و رطوبت بر آن‌ها و همچنین برهم‌کنش آن‌ها بر دو فاکتور یاد شده، نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار دما بر درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی می‌باشد. پتانسیل آبی نیز بر میانگین جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی این گونه مؤثر است. طبق تحقیقات Soltani (۲۰۱۱) درجه حرارت و پتانسیل آبی به‌طور قابل‌توجهی جوانه‌زنی گونه تاغ *Haloxylon persicum* (Chenopodiaceae) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مقدار عددی هیدروتایم (θ_H) برای سه گونه سرو خمره‌ای برابر با ۰/۱۱±۰/۴۵ می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده امکان ارائه مدل رطوبتی- دمایی- زمانی جوانه‌زنی گونه سرو خمره‌ای می‌باشد؛ که مقدار عددی آن ۱۰۵/۱ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز (MPa°C.d) است. پژوهش‌های مختلفی برای تعیین ضرایب رطوبتی- دمایی- زمانی تایم در گیاهان مختلف صورت گرفته است. Larse و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند ضرایب رطوبتی- دمایی- زمانی در ارقام مختلف .*Festuca rubra* spp *Litoralis* و *Lolium perenne* و *Poa pratensis* به‌ترتیب حدود ۸۴ و ۶۵ و ۲۶۸ مگاپاسکال درجه در روز می‌باشد Watt و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند ثابت رطوبتی- دمایی- زمانی برای دو گونه *Pinus radata* و *Buddleja dauidii* به‌ترتیب حدود ۱۶۵ و ۱۰۵ مگاپاسکال درجه در روز بود. Rowse و Finch–Savage (۲۰۰۳) مقادیر رطوبتی- دمایی- زمانی را برای پیاز و هویج به‌ترتیب حدود ۴۸ و ۴۷ مگاپاسکال درجه سانتی‌گراد روز گزارش کردند. ضریب تبیین ۰/۸۷ نشان‌دهنده این است که این مدل به‌خوبی توانسته جوانه‌زنی را توصیف کند. این پیش‌بینی اجازه می‌دهد که پیشرفت جوانه‌زنی در سراسر محیط‌های

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

متغیر که در آن پتانسیل آبی و درجه حرارت نوسان دارد، جمع‌بندی شود. مدل‌سازی رطوبتی- دمایی- زمانی نظریه‌ای فراهم می‌کند تا اثر درجه حرارت و پتانسیل آبی را بر جوانه‌زنی تحت شرایط کنترل‌شده یا طبیعی، به‌صورت کمی بیان کند. در این زمینه پیش‌بینی به محدوده جوانه‌زنی که با ورودی‌های خاک و آب شروع می‌شود و در پایان به برقراری و بقا ختم می‌شود، بستگی دارد.

یک ویژگی کلیدی مدل رطوبتی– دمایی– زمانی این است که بذرهای کشت داده شده در معرض حرارت و پتانسیل آبی پایه موردنیاز (کمترین، بهینه، بیشترین) برای جوانه‌زنی قرار می‌گیرند، به‌طوری‌که بتوانند ازنظر جوانه‌زنی پیشرفت کنند. از دیگر مزیت‌های این مدل این است که معادلات آن می‌توانند به جمعیت بذر نیز اعمال شوند، همچنین منجر به پیش‌بینی همزمان درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی می‌شود. مدل رطوبتی - دمایی- زمانی آستانه حرارتی و پتانسیلی را تعریف و مشخص می‌کند و بالاتر از حد آستانه جوانه‌زنی به‌تدریج مهار می‌شود. این ناحیه مشکل‌ساز برای جوانه‌زنی توسط Row و Finch-Savage (۲۰۰۳) مورد توجه قرار گرفت. آن‌ها با تغییرات رو به بالا در پتانسیل آبی، توضیحی برای کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی در حرارت‌های Sub-opti ارائه کردند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که پتانسیل آبی پایه که به‌طور نرمال و طبیعی در جمعیت بذرها توزیع می‌شود با خصوصیات فیزیولوژیکی و زیستی بذرها مرتبط است. ساعت بیولوژیکی برای بسیاری از فرآیندهای مهم گیاهی (مانند گلدهی، جوانه‌زنی و...) مانند کنترل‌کننده عمل می‌کند و سرعت را کم یا زیاد می‌کند. حرارت نیز چنین نقشی را در تنظیم زمان ایفا می‌کند. مدل زمان- حرارتی، مدل خوبی برای بیشتر فرآیندهای پیچیده بیولوژیکی و زیست‌شناختی است. این مدل به‌طور کمی درجه حرارت‌های کاردینال را بیان می‌کند سپس در زمان واقعی جوانه‌زنی ضرب می‌کند. در مدل زمان- حرارتی این امکان وجود دارد که نرخ جوانه‌زنی بین دو مقدار کمترین و بیشترین به‌صورت خطی افزایش پیدا کند که به نظر می‌رسد برای اکثر گونه‌ها صادق باشد.

منابع

آل ابراهیم، م.، صباغ نیا، ن.، عبادی، آ. و محب الدینی، م. ۱۳۸۴. بررسی تنش خشکی و شوری بر جوانه‌زنی گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris*). پژوهش در علوم کشاورزی، ۱(۱): ۱۹-۱۳.

احمدلو، ف.، طبری، م.، بهتری، ب. ۱۳۹۰. اثر تنش آبی بر برخی صفات فیزیولوژیکی بذر کاج حلب و کاج بروسیا. مجله زیست‌شناسی ایران، ۲۴(۵): ۷۳۶-۷۲۸.

پورعسگری، ع. م. و پورلزرجانی، ه. ۱۳۸۴. راهنمای تولید نهال، درخت‌کاری و معرفی تعدادی از درختان و درختچه‌های جنگلی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۸ ص.

رضایی، آ .۱۳۷۹ .بررسی اکولوژیک رویشگاه‌های طبیعی زربین در شمال ایران (مطالعه موردی :حسن‌آباد چالوس، رامیان و زرین‌گل گرگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲۲۰ ص.

سرمدنیا، غ. و کوچکی، ع. ۱۳۷۶. جنبه‌های فیزیولوژی زراعت دیم، انتشارات دانشگاه مشهد، ۳۲۰ ص.

سلطانی، آ. و مداح، و. ۱۳۸۹. برنامه‌های کاربردی ساده برای آموزش و پرورش در کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۳۶-۳۲.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

سلطانی، آ. ۱۳۷۶. طبقه‌بندی پارک‌ها و مناطق حفاظت‌شده ایران از نظر گونه‌های شاخص گیاهی و جانوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۴۰ ص.

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

ناقدی نیا، ن. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۸. ارزیابی درجه حرارت‌های حداقل، بهینه و حداکثر جوانه‌زنی کرامپ، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۴۵۶-۴۵۱.

Allen, P.S., Thorne, E. T., Gardner, J. S. & White, D.B. 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.

Boydak, M., Duruk, H., Tulku, F. & Alikoulu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey, Turkish. Journal of Agriculture and Forestry, 27(2): 91-97.

Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. Seed Development and Germination, 1(13): 351–396.

Bradford, K.J., Chen, F. & Cooley, M.B. 2000. Gene expression prior to radicle emergence in imbibed tomato seeds. Pp. 231–251. In Seed Biology: Advances and Applications Black, M. Bradford, K.J. & Vázquez-Ramos J. (ed.). CAB International, Wallingford, UK.

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.

Bravo, F., Luca, M., Mercurio, R., Sidari, M. & Muscolo, A. 2011. Soil and forest productivity: a case study from Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Calabria (southern Italy). Journal of Biogeosciences and Forestry, 4(1): 25-30.

Cerabolini, B., Andreis, R.D., Ceriani, R.M., Pierce, S. & Raimondio, B. 2004. Seed germination and conservation of endangered species from the Italian Alps: *Physopleis comosa* and *Primula glaucescens*. Biological Conservation, 117: 351-356.

Colom, M.R. & Vazzana, C. 2001. Drought stress effect on three cultivars of *Eragrostis curvula*. Photosynthesis and water relation. Plant Growth Regulation, 34(2): 195-202.

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: 729-741.

Kazerooni monfared, E., Rezvani moghadam, P. & Nasseri, M. 2012. Modeling the effects of water stress and Temperature on germination of *Lacutuca serriola* L. seed International Research. Journal of Applied and Basic Sciences, 3(9):1957-1965.

Kharkwal, A.C., Parkasho, M., Bhattacharya, A., Nagar, P.K. & Ahuja, P.S. 2002. Method for inducing improved seed germination in *Podophyllum hexandrm* Royle, United States patent, No 6.

Lavendar, D.P. 1984. Plant physiology and nursery environment: Interactions affecting seedling growth. In Forestry Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Springer Netherlands, Pp. 133-141.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

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

Qui, J., Bai, Y., Coulman, B. & 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: 261-271.

Rowse, H.R. & 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.

Soltani, A. 2011. Seed germination response of *Haloxylon persicum* (Chanopodiacea) to different hydrothermal conditions and sand burial depths, Caspian Journal of Environmental Sciences, 9(2): 211-221.

Tilki, F., & Dirik, H. 2007. Seed germination of three provenances of *Pinus brutia* (Ten.) as influenced by stratification, temperature and water stress. Journal of Environmental Biology, 28(1): 133.

Larsen, S.U. Baily, C., Come, D. & corbineau, F. 2004. Using of the hydrothermal time model to analyse interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. Seed Science Research, 14(01): 35-50.

Ven Den Berg, L. & Zen, Y.J. 2006. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. South African Journal of Botany, 72(2): 284-286.

Watt, M.S., Xu, V. & 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. & Xu, M. 2006. Effects of drought stresses induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. Mongolica seeds from natural and plantation forests on sandy land. Journal of Forest Research, 11(5): 319–328.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

Journal of Zagros Forests Researche, 1(2), Autumn & Winter, 2015

Modeling of Seed Germination of *Platycladus orientalis* in Response to The Interaction of Temperature and Water Potential

Fatemeh Aliyari [1], Ali Soltani [2], Mehrdad Zarafshar [3, *]

[1, 2] *Master of Student & Assistant Professor, Shahrkord University, Shahrkord, Iran*
[3] *Gratuated PhD, Tarbiat modares University, Iran*
[*] Corresponding author, E-mail address: mehrdadzarafshar@gmail.com

(Received: 2015.01.12 Accepted: 2015.03.11)

Abstract

Accessing to the data that could increase our knowledge associated with the response of seed to moisture content and temperature, is very important on exact time of planting decisions making. In this study Hydro-thermal-time modeling of *Platycladus orientalis* germination, one of the most planted trees in Iran forests, by applying 5 levels of water stress (0.-0.5, -1, -1.5, -2 MPa) and temperature treatments (10, 15, 20, 25, 30 ° C) was performed. The results showed that the optimum temperature (To) for germination is 23.12° C and basic temperature (Tb) for germination is 8.18 ° C. Meanwhile amount of the hydrotime constant (θ_H) for this species is 0.45. The outcomes indicated that the reduction in water potential and temperature germination is linearly reduced. Interaction of temperature and water potential factors affected significantly on time and percent germination value. A Hydro-thermal-time model was introduced for *Platycladus orientalis* L. in which its constant value was 105.1 MPa°C.d.

Keywords: *Platycladus orientalis*, Germination, Optimum temperature, Basic temperature, Hydrothermal time model

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]

Translated References

Ahmadloo, F., Tabari, M. & Behtari, B. 1390. Effect of water stress on some physiological characteristics of *Pinuse brutia* and *P.halepensis* seeds. Journal of Iranian Biology, 24(5): 728-736. (In Persion with English Abstract).

Al Ebrahim, M., Sbaghnya, N., Ebadi, A. & Moheb Adin, M. 2005. Effect of drought stress and salinity on the germination of medicinal plant Thymus (*Thymus vulgaris*). Research in Agricultural Science, 1(1): 13-19. (In Persian with English Abstract).

Koneshluo, H. 2001. Afforestation in arid regions Research Institute of Forests and Rangelands. Research Institute of Forests and Rangelands, 516 p. (In Persian).

Naqedyniya, N. & Rezvan Moghaddam, P. 2009. Evaluation of temperatures minimum, optimum and maximum germination cramps. Journal of Agricultural Research, 7(2): 451-456. (In Persian with English Abstract).

Pour Askari A. M. & Pvrlzrjany, H. 2005. Manual of plants, trees and introduced a number of forest trees and shrubs. Research Institute of Forests and Rangelands, 138 p. (In Persian).

Rezaei, A. 2000. Cypress evaluate ecological natural habitats in northern Iran (Case Study: Hassan Abad Chalous, Ramy and Zarrin Gol, Golestan, Gorgan). Gorgan University Master's Thesis, 220 p. (In Persian with English Abstract).

Sarmadnya, Gh. & Kochaki, A. 1997. Phisiology dryland farming areas, Mashhad University Press, 320 p. (In Persian).

Soltani, A. 1997. Classification of parks and protected areas of the country in terms of plant and animal species. Thesis Master's degree of Natural Resources, Tehran University, 140 p. (In Persian with English Abstract).

Soltani, A. & Maddah, V. 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy, Tehran University Press, 140 P. (In Persian).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-06]