

مدل‌سازی دماهای کاردینال و رفتار جوانه‌زنی بذرهاى انجیلی (*Parrotia persica C.A. Meyer*) تحت تأثیر دما و تیمارهای رفع خفتگی

کیوان ملکی^{۱*}، الیاس سلطانی^۲، سیاوش حشمتی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲. دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۳

چکیده

اطلاعات درباره جوانه‌زنی و خفتگی بذرهاى انجیلی بسیار محدود است. هیچ گزارشی از دماهای کاردینال و نوع خفتگی این بذرها وجود ندارد. هدف این پژوهش، تعیین نوع خفتگی و دماهای کاردینال و نیز یافتن بهترین راه غلبه بر خفتگی در انجیلی بود. این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. به منظور بررسی تأثیر پس‌رسی بر رفع خفتگی و نیز جوانه‌زنی، آزمون جوانه‌زنی بذرهاى انجیلی تحت چهار تیمار مختلف (شاهد یا آب مقطر، اسید جیبرلیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، ملاتونین با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) صورت گرفت. پس از جمع‌آوری بذرها، آزمون جوانه‌زنی در دماهای ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت و نیز تیمار اسید جیبرلیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه و به پتری‌دیش‌ها اضافه شد و درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها به مدت ۲۶ روز ثبت شد. نتایج نشان داد که بذرهاى بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی دارای خفتگی شرطی‌اند و در دامنه محدودی جوانه می‌زنند. دمای پایه و سقف برای بذرهاى بالغ تازه‌برداشت‌شده به ترتیب ۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. اعمال تیمار پس‌رسی و اسید جیبرلیک موجب افزایش درصد جوانه‌زنی و نیز دامنه دمایی شد. در بین تیمارها، بذرهاى پس‌رسی‌شده و تیمار شده با اسید جیبرلیک بیشترین درصد جوانه‌زنی، و بذرهاى شاهد و ملاتونین ۵۰ میکرومولار کمترین درصد جوانه‌زنی را داشتند.

واژه‌های کلیدی: انجیلی، جوانه‌زنی، خفتگی، دماهای کاردینال، مدل دندان‌مانند.

مقدمه

تالش در شمال غربی رشته‌کوه البرز یافت می‌شود [۱، ۲]. جمعیتی جداشده از این گونه در جنگل‌های شمال شرقی قفقاز نیز مشاهده شده است [۳]. جنگل‌های هیرکانی نزدیک‌ترین باقی‌مانده از گونه‌های جنگلی قدیمی اروپا از دوره پلیو پلیستوسن محسوب می‌شوند. این درخت، گونه زیبای باغی متداول در آمریکای شمالی و اروپا [۱] و نیز درختی الواری [۳] به شمار می‌رود. با این حال گزارش‌ها

انجیلی (*Persian ironwood; Parrotia persica C.A. Meyer*) درختی خزان‌کننده، پیشاهنگ و کندرشد از خانواده *Hamamelidaceae* و بومی جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران است که در دامنه ارتفاع ۱۵۰ تا ۷۰۰ متر در کوه‌های

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۵۵۷۲۲۷۳۱

Email: keyvan.maleki@ut.ac.ir

حاکمی از آن است که این گونه بومی قابلیت خوبی برای پروژه‌های احیای جنگل به‌ویژه در نواحی پرشیب دارد [۴]. این گونه در حال حاضر در زمرة گونه‌های تحت تهدید قرار ندارد، اما توجه مدیران جنگل را به دلیل برخی خصوصیات گونه‌های در معرض انقراض به خود جلب کرده است [۵]. انجیلی گونه‌ای است که نگرانی‌هایی برای حفظ و بقای آن وجود دارد. این گونه متعلق به خانواده گیاهی *Hamamelidaceae* است که به پنج زیرخانواده تقسیم شده و تاریخچه انقراض گونه‌های آن به خوبی بررسی شده است [۶-۸].

در رویشگاه‌های طبیعی، اصلی‌ترین راه تکثیر انجیلی کاشت بذر است، اگرچه مرگومیر گیاهچه نیز ممکن است زیاد باشد. میوه انجیلی دوحجره‌ای است و در مهر می‌رسد و باران بذر نیز در مهرماه رخ می‌دهد. انجیلی دارای بذرهای ارتودوکس است و توسط بذر، قلمه و پیوند زدن تکثیر می‌شود [۲، ۳]. نتایج نشان داده که تکثیر انجیلی با استفاده از بذر، اطمینان‌بخش نیست و بیشتر بذرهای ممکن است پیش از سال دوم جوانه نزنند [۹]. با این حال، دیر گزارش کرده است که پنج ماه لایه‌گذاری گرم پس از سه ماه لایه‌گذاری سرد موجب رفع خفتگی بذر و جوانه‌زنی شد [۱۰]. نوع خفتگی بذرهای انجیلی نامشخص است. با این حال، پنج طبقه خفتگی فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، مورفوفیزیولوژیکی، فیزیکی و ترکیبی از خفتگی فیزیکی و فیزیولوژیکی در بذرهای موجود دارد [۱۱]. بذرهای دارای خفتگی فیزیولوژیکی پس از طی یک دوره پرسی یا لایه‌گذاری (گرم و سرد) قادر به جوانه‌زنی هستند و اسید جیبرلیک نیز موجب بهبود جوانه‌زنی این نوع خفتگی می‌شود. بذرهای دارای خفتگی مورفولوژیکی، جنین توسعه‌نیافته دارند و بذرهای پیش از رسیدن جنین به اندازه معینی قادر به جوانه‌زنی نخواهند بود. بذرهای دارای خفتگی فیزیکی نیز دارای پوسته بذر یا میوه نفوذناپذیر به آب هستند و به خراش دهی برای

جوانه‌زنی نیازمندند. از دیدگاه اکولوژیکی نیز مشخص شدن طبقه خفتگی و نیز نوع خفتگی در آن طبقه بسیار بااهمیت است.

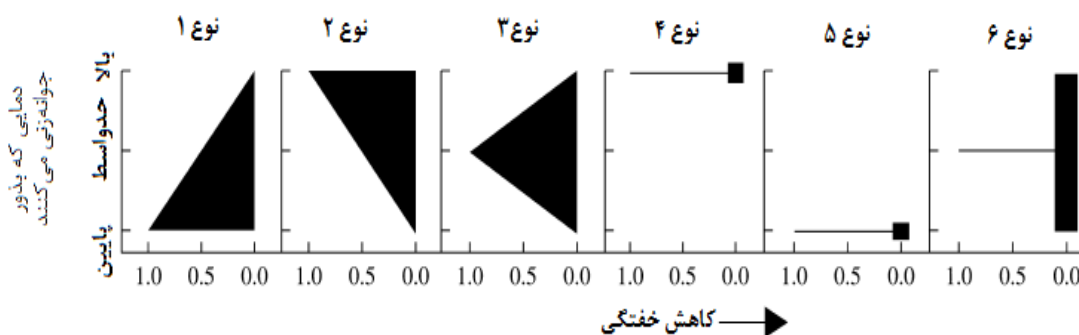
بذرهای دارای خفتگی فیزیولوژیکی سطحی دارای شش نوع متفاوت خفتگی هستند (شکل ۱). در خفتگی فیزیولوژیکی سطحی نوع ۱ و ۲، بذرهای دارای خفتگی، در آغاز رفع خفتگی به ترتیب تنها در ماه‌های کم و زیاد جوانه‌زنی می‌کنند [۱۲]، درحالی که در خفتگی فیزیولوژیکی سطحی نوع ۳، بذرها در آغاز رفع خفتگی در دمای حد واسط جوانه می‌زنند (شکل ۱) و پس از رفع خفتگی دامنه دمایی بذرهای افزایش پیدا می‌کند [۱۲، ۱۳]. علاوه بر این، بذرهای دارای خفتگی فیزیولوژیکی سطحی نوع ۱، ۲ و ۳ ممکن است دارای خفتگی شرطی (CD^1) باشند [۱۲]. باسکین و باسکین اظهار داشتند که بذرهای دارای خفتگی شرطی یا خفتگی نسبی در حالتی پویا بین خفتگی (D^2) و عدم خفتگی (ND^3) در نظر گرفته می‌شوند و بذرهای دارای خفتگی شرطی در دامنه دمایی محدودتری جوانه‌زنی می‌کنند و پس از رفع خفتگی شرطی، دامنه دمایی جوانه‌زنی بذرهای بسته به نوع خفتگی تغییر می‌کند (شکل ۱) [۱۱]. افزون بر این، بذرهای بالغ تازه برداشت شده ممکن است دارای خفتگی شرطی باشند و سپس در طول پرسی و لایه‌گذاری فاقد خفتگی شوند.

در همین زمینه کاپته و همکاران گزارش کردند که بذرهای تازه برداشت شده *Coincya longirostra* و *C. monensis* دارای خفتگی شرطی بودند که این خفتگی در طول پرسی (چهار ماه پرسی خشک در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) کاهش پیدا کرد و بذرهای در دامنه محیطی گسترده‌تری جوانه زدند [۱۴]. در پژوهشی، رستمی‌کیا و همکاران گزارش کردند که اعمال تیمار لایه‌گذاری سرد به مدت ۱۲۰ موجب رفع خفتگی

1. Conditional Dormancy
2. Dormancy
3. Non-Dormancy

جوانه‌زنی نداشت، اما بذور خراش‌دهی شده و قرار گرفته در معرض نور، جوانه‌زنی زیادی داشتند [۱۶]. بدین ترتیب با توجه به ضرورت حفظ گونه‌های بومی اهداف این پژوهش عبارت است از: ۱. بررسی تأثیر تیمارهای رفع خفتگی بر رفتار جوانه‌زنی و نیز افزایش ظرفیت جوانه‌زنی بذرهای انجیلی؛ ۲. بررسی وجود خفتگی شرطی و بهترین راه غلبه بر خفتگی شرطی به‌منظور افزایش درصد جوانه‌زنی بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی؛ ۳. برآورد و بررسی تغییرات دمای کاردینال بذرهای انجیلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف رفع خفتگی.

فیزیولوژیک در بذرهای فندق جنگلی شد [۱۵]. مشخص شده است که اعمال تیمار اسید جیبرلیک بر بذرهای *Acer monspessulanum sub turcomanicum* سبب افزایش چشمگیر درصد جوانه‌زنی بذر می‌شود که این موضوع نشان‌دهنده واکنش قابل قبول بذر درختان جنگلی دارای خفتگی فیزیولوژیک به اعمال تیمار اسید جیبرلیک است [۱۶]. در همین زمینه، ربیع‌زاده و همکاران گزارش کرده‌اند که اعمال تیمار اسید جیبرلیک به‌همراه خراش‌دهی، درصد جوانه‌زنی بذور انجیلی را افزایش داد. غلظت‌های زیاد جیبرلیک تأثیر معنی‌داری در ظرفیت



شکل ۱. شش الگوی (نوع ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶) مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذرهای خارج‌شده از خفتگی فیزیولوژیکی سطحی [۱۲].

۲۲ سانتی‌متر جمع‌آوری شد. درصد جوانه‌زنی اولیه بذرها بلافاصله پس از برداشت در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر پردیس ابوریحان دانشگاه تهران ارزیابی شد. بدین منظور بذرها پس از برداشت با استفاده از آب مقطر و اسید جیبرلیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و در چهار دما (۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) در دستگاه‌های ژرمیناتور مجزا تحت آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند. سپس به‌منظور پس‌رسی، بذرهای بالغ در شرایط تاریکی (در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) درون پاکت‌های کاغذی به‌مدت ۸ ماه انبار (دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۰ درصد) شدند [۱۷]. سپس به‌منظور بررسی تأثیر پس‌رسی بر رفع خفتگی و نیز جوانه‌زنی، بذرهای انجیلی تحت چهار تیمار مختلف (شاهد یا آب مقطر، جیبرلیک

مواد و روش‌ها

مواد

اسید جیبرلیک و ملاتونین (N-استیل-۵-متوکسی تریپتامین) استفاده‌شده در این آزمایش ساخت شرکت سیگما آلدریخ بود که در غلظت‌های مورد نظر تهیه شد.

روش‌ها

جمع‌آوری بذرها و آزمون جوانه‌زنی

بذرهای بالغ استفاده‌شده در این پژوهش از توده درختان انجیلی ارتفاعات روستای زیارت گرگان واقع در استان گلستان (36.71° N 54.48° E) با ارتفاع ۱۵۶۳ متر از سطح دریا در شهریور ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. کپسول‌های حاوی بذر از درخت انجیلی با ارتفاع ۹/۸ متر و قطر برابر سینه

مطلوب پایینی و بالایی به ترتیب ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری

همه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از رویه PROC NLIN در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) انجام گرفت و همه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که بذرهای تازه برداشت شده که با آب مقطر تیمار شده بودند، کمترین درصد جوانه‌زنی را در بین تیمارهای دیگر در همه دماها نشان دادند (شکل ۲). این در حالی بود که دودوو و شرت‌لایف گزارش کرده‌اند که بذرهای بالغ تازه برداشت شده *Vaccaria hispanica* خفتگی شرطی داشتند و بیشترین درصد جوانه‌زنی این بذرها در دماهای حد واسط (۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد) بود؛ در حالی که جوانه‌زنی در دماهای ۵، ۷/۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در کمترین حد بود [۱۳]. رستمی‌کیا و همکاران مشخص کردند که اعمال تیمارهای رفع خفتگی موجب افزایش ظرفیت جوانه‌زنی در بذرهای فندق جنگلی شد [۱۵]. در آزمایشی در انجیلی، ربیع‌زاده و همکاران گزارش کردند که اعمال تیمار اسید جیبرلیک موجب افزایش بذرهای انجیلی شد و اعمال غلظت‌های زیاد اسید جیبرلیک تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نداشت و درصد جوانه‌زنی نیز در بذور خراش‌دهی شده و قرار گرفته در معرض نور به‌طور معنی‌داری بیشتر بود [۱۶]. با این حال بذرهای تازه برداشت شده انجیلی بیشترین جوانه‌زنی را در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین جوانه‌زنی را در دماهای زیاد و کم داشتند (شکل ۱). اعمال تیمار اسید جیبرلیک در بذرهای تازه برداشت شده انجیلی تا حدودی موجب رفع خفتگی شرطی در این بذرها شد و درصد جوانه‌زنی و نیز دامنه دمایی جوانه‌زنی

اسید (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، ملاتونین با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) تحت آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند. همه آزمون‌های جوانه‌زنی در شرایط تناوب تاریکی و نور (۱۲ ساعت/۱۲ ساعت) با استفاده از چهار تکرار ۵۰ بذری انجام گرفت. بذرها در پتری‌دیش‌های ۱۰ سانتی‌متری و روی کاغذ صافی قرار داده شدند و ۶ میلی‌لیتر آب مقطر یا تیمارهای دیگر به آنها اضافه شد. بذرها روزانه شمارش شدند و معیار جوانه‌زنی نیز خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر بود. شمارش تا زمانی که بذرها سه روز متوالی جوانه‌زنی نداشتند، ادامه یافت. درصد نهایی و سرعت جوانه‌زنی (عکس زمان تا ۲۰ درصد جوانه‌زنی؛ معادله ۱) برای هر یک از تیمارها تعیین شد [۱۲].

$$R20=1/T20 \quad (1)$$

R سرعت جوانه‌زنی و T20 معادل زمان تا ۲۰ درصد جوانه‌زنی است.

برآورد دمای کاردینال

برای برآورد دمای کاردینال و حداکثر سرعت جوانه‌زنی (Rmax) در دمای مطلوب بذرهای انجیلی از یک مدل رگرسیون غیرخطی و تابع دندان‌مانند (Dent-like؛ معادله ۲) استفاده شد [۱۲]:

$$GR = \begin{cases} \left(\frac{T - T_b}{T_{01} - T_b} \right) \times R_{max} & \text{if } T_b < T < T_{01} \\ \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_{02}} \right) \times R_{max} & \text{if } T_{02} < T < T_c \\ R_{max} & \text{if } T_{01} \leq T \leq T_{02} \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases} \quad (2)$$

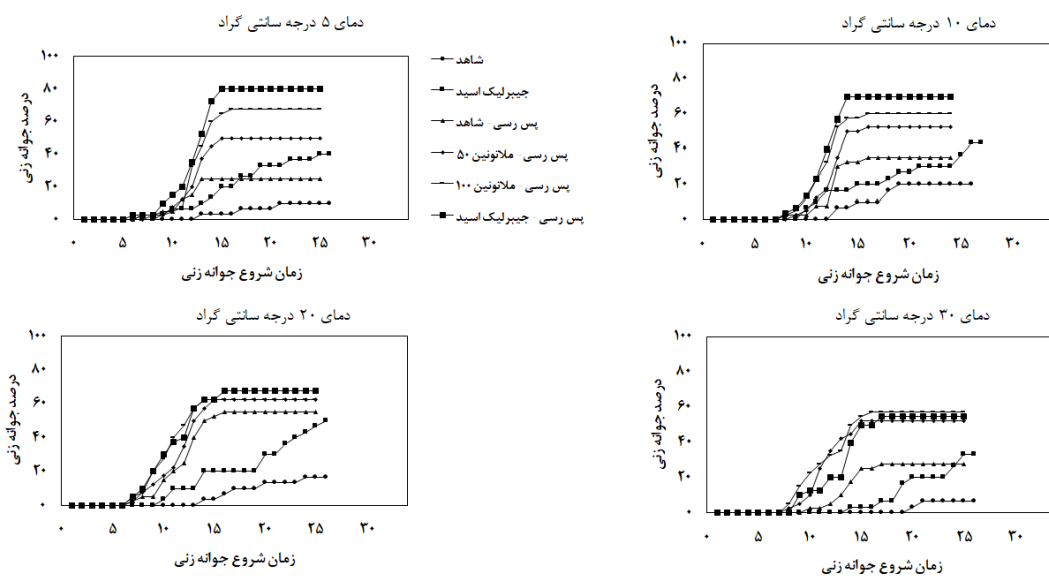
تابع دندان‌مانند:

در این معادله‌ها GR سرعت جوانه‌زنی، Rmax حداکثر سرعت جوانه‌زنی، T دما، Tb دمای پایه، To1 دمای مطلوب، To2 دمای مطلوب تحتانی، To2 دمای مطلوب فوقانی و Tc دمای سقف است. مقادیر برای دمای پایه و سقف به ترتیب ۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و برای دمای

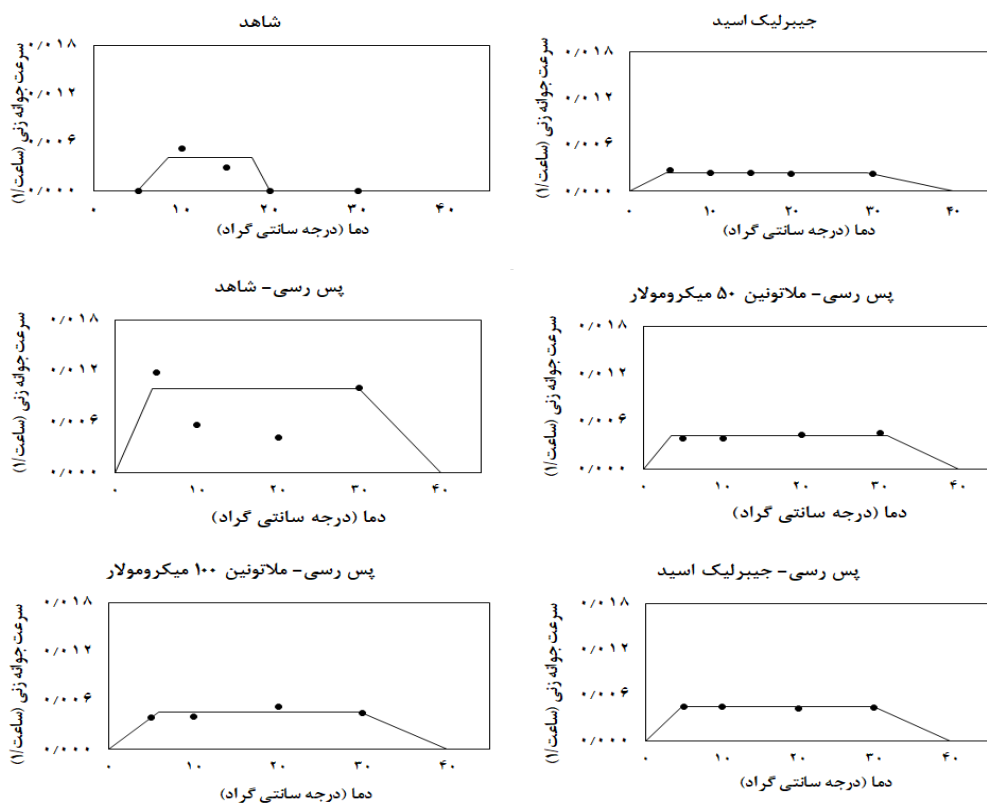
بذرهای پرسی شده داشته‌اند (شکل‌های ۲ و ۳). به‌طوری که بین دو تیمار ملاتونین، تأثیر ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار در ۳ دمای ۵، ۱۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از تیمار ملاتونین ۵۰ میکرومولار بود، این در حالی بود که این دو تیمار تفاوت چندانی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نداشته‌اند. این نتایج به‌خوبی با یافته‌های محققان دیگر درباره کیوی مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که اعمال تیمار ملاتونین بر بذرها توانست موجب رفع خفتگی و نیز افزایش درصد جوانه‌زنی در بذرهای دارای خفتگی فیزیولوژیک شود [۱۹]. با این حال نتایج به‌خوبی نشان داد که گذشته از وجود خفتگی شرطی و محدود بودن دامنه دمایی برای بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی، تیمار پرسی و نیز بذرهای پرسی شده در ترکیب با تیمارهای دیگر به‌خوبی موجب رفع خفتگی و نیز افزایش درصد جوانه‌زنی بذرهای انجیلی شد. در نهایت اینکه بذرهای انجیلی در زمان بلوغ و نیز بذرهای پرسی شده در دامنه دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد جوانه‌زنی را داشتند.

افزون‌بر این، نتایج حاصل از برآزش رگرسیون غیرخطی و مدل دندان‌مانند نشان داد که بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی در دامنه محدودی از شرایط دمایی جوانه‌زنی می‌کنند. در نتیجه دمای کاردینال بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی که با آب مقطر تیمار شده بودند، دامنه‌ای بین ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای دماهای پایه و سقف داشتند (شکل ۳). این دامنه دمایی پس از اعمال تیمار اسید جیبرلیک در بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده موجب افزایش دامنه دمایی و گسترده‌تر شدن شرایط دمایی جوانه‌زنی شد؛ درحالی که سرعت جوانه‌زنی تغییر چندانی نداشت که بیانگر خفتگی در جمعیت بذری است.

بذرهای اندکی افزایش پیدا کرد (شکل‌های ۲ و ۳). بدین ترتیب بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بعد از آن مربوط به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب با ۵۰ و ۴۴ درصد بود. این نتایج به‌خوبی بیانگر تأثیرپذیری خفتگی فیزیولوژیک توسط اسید جیبرلیک است. گزارش شده است که اعمال تیمار اسید جیبرلیک سبب افزایش درصد و ظرفیت بذرهای *Acer monspessulanum sub turcomanicum* شد [۱۸]. پرسی خشک بذرها به‌مدت ۸ ماه موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذرهای انجیلی شد. به‌طوری که درصد جوانه‌زنی در بذرهای پرسی شده که با آب مقطر تیمار شدند در دماهای ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب به ۳۵ و ۵۲ درصد افزایش یافت. در آزمایشی کاپته و همکاران نشان دادند که بذرهای تازه‌برداشت‌شده *C. monensis* و *Coincya longirostra* خفتگی شرطی داشتند و در دماهای کم تا متوسط جوانه‌زنی زیادی نشان دادند، اما اعمال تیمار پرسی (به‌مدت چهار ماه به‌صورت خشک و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) به رفع خفتگی شرطی و نیز افزایش درصد جوانه‌زنی منجر شد [۱۴]. اما این افزایش در درصد جوانه‌زنی بذرها در دماهای کم (۵ درجه سانتی‌گراد) و زیاد (۳۰ درجه سانتی‌گراد) مشهود بود. به‌طوری که درصد جوانه‌زنی در این بذرها در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد از ۱۰ به ۲۰ درصد پس از پرسی افزایش یافت و این تغییرات در دمای زیاد (۳۰ درجه سانتی‌گراد) از ۶ به ۲۲ درصد بود (شکل ۲). بدین ترتیب، ترکیب تیمارهای رفع خفتگی با پرسی تأثیر زیادی بر افزایش درصد جوانه‌زنی و نیز رفع خفتگی بذرهای انجیلی داشت، به‌طوری که درصد جوانه‌زنی بذرهای تیمار شده با اسید جیبرلیک به‌همراه پرسی به‌طور مشخصی در هر چهار دما افزایش یافت و به‌خوبی موجب رفع خفتگی بذرهای انجیلی شد. با وجود این، دو تیمار ملاتونین نیز تأثیر زیادی بر جوانه‌زنی



شکل ۲. درصد جوانه‌زنی بذرها انجیلی تحت تأثیر تیمارهای مختلف رفع خفتگی



شکل ۳. رابطه بین سرعت جوانه‌زنی با دما در انجیلی با استفاده از مدل دندان‌مانند

همکاران نشان دادند که اعمال تیمار اسید جیبرلیک با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذرهای انجیلی شد [۱۶] که این نتایج همسو با پژوهش حاضر است. نتایج نشان داد که اعمال تیمار اسید جیبرلیک موجب افزایش ظرفیت بذرهای انجیلی شد، به طوری که اعمال اسید جیبرلیک در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ قسمت در میلیون درصد جوانه‌زنی بذرهای انجیلی را به ترتیب به ۴۵، ۵۴ و ۵۲ درصد افزایش داد [۱۶]. بدین ترتیب ممکن است این بذرهای خفتگی فیزیولوژیکی سطحی نوع ۳ داشته باشند. اعمال تیمار لایه‌برداری سرمایی به مدت ۱۲۰ روز نیز موجب رفع خفتگی گونه فندق جنگلی شد که دارای بذرهایی با خفتگی فیزیولوژیک است، اما تغییرات دمایی بررسی نشد [۱۸]. دمای مطلوب تحتانی و فوقانی نیز در بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده به ترتیب ۸/۴۴ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد بود که پس از اعمال تیمار اسید جیبرلیک این دو دامنه دمایی به ترتیب به ۴/۵۱ و ۲۹/۳۲ تغییر پیدا کردند (جدول ۱). افزون‌بر این، گزارش‌های زیادی از تغییر دماهای کاردینال در طول رفع خفتگی و گسترده‌تر شدن دامنه دمایی وجود دارد. تغییر دمای پایه برای توصیف رفع خفتگی در بذرهای نیز در بسیاری از گونه‌ها مشاهده شد.

برآوردها نشان داد که تیمارهای رفع خفتگی موجب افزایش و نیز تغییر دامنه دمای کاردینال در بذرهای انجیلی شد. برآوردهای حاصل از یک مدل رگرسیون خطی نشان داد که دقت مقادیر دمای پایه مشاهده‌شده و برآورده‌شده توسط معادله ۱ به‌خوبی تبیین شده است (شکل ۴)، به طوری که دمای پایه و سقف در بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی که با آب مقطر تیمار شده بودند به ترتیب ۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود که این موضوع حاکی از این است که بذرهای تازه‌برداشت‌شده انجیلی تنها در دماهای حد واسطه جوانه می‌زنند، اما اعمال تیمار اسید جیبرلیک به بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده موجب گسترده‌تر شدن دامنه دمایی شده است؛ بدین صورت که دمای پایه به صفر کاهش پیدا کرده و دمای سقف نیز به ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (شکل ۳، جدول ۱). گزارش‌ها نشان داده است که اعمال تیمارهای رفع خفتگی در بذر گونه‌های جنگلی از قبیل فندق جنگلی و *Acer monspesslanum sub turcomanicum* تأثیر معنی‌داری بر رفع خفتگی فیزیولوژیک و نیز افزایش درصد جوانه‌زنی و نیز یکنواختی جوانه‌زنی داشت، اما این پژوهش‌ها طبقه‌بندی نوع خفتگی فیزیولوژیک و نیز تغییر و برآورد دماهای کاردینال را بررسی نکرده‌اند. در پژوهشی دیگر، ربیع‌زاده و

جدول ۱. دماهای کاردینال انجیلی تحت تیمارهای مختلف با استفاده از مدل دندان‌مانند

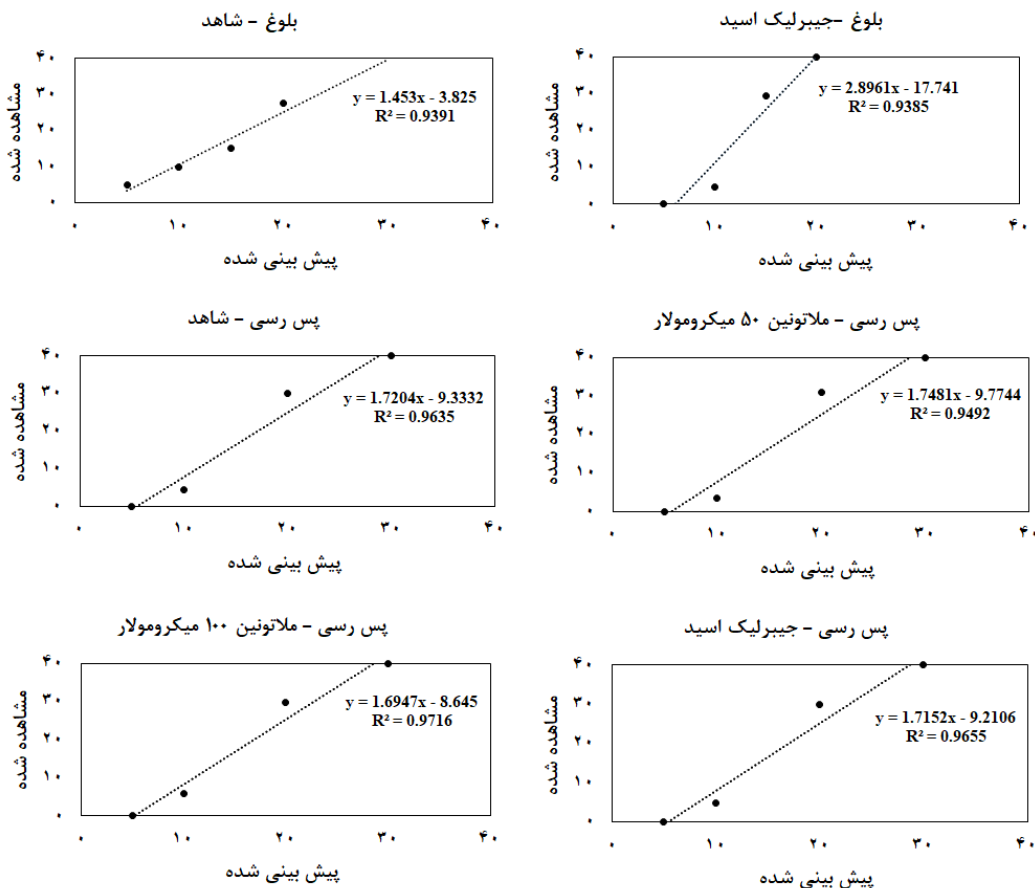
تیمار	دمای پایه	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب فوقانی	دمای سقف	R ²	RMSE
شاهد	۵±۱/۸۵	۸/۴۴±۰	۱۸±۰	۲۰±۳/۷۸	۰/۹۳	۲۱/۴۲
اسید جیبرلیک	±۰	۴/۵۱±۰	۲۹/۳۲±۰	۴۰±۰	۰/۹۴	۱۳/۵۴
پس‌رسی - شاهد	±۰	۴/۴۸±۰	۳۰±۰	۴۰±۰	۰/۹۶	۲۲/۲۰
پس‌رسی - ملاتونین ۵۰ میکرومولار	±۰	۴/۴۸±۰	۳۱/۰۴±۰	۴۰±۰	۰/۹۵	۲۲/۳۶
پس‌رسی - ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار	±۰	۵/۸۴±۸/۷۱	۲۹/۷۲±۲/۳۷	۴۰±۰	۰/۹۷	۲۲/۲۰
پس‌رسی - اسید جیبرلیک	±۰	۴/۷۴±۰	۲۹/۸۹±۰	۴۰±۰	۰/۹۶	۲۲/۱۹

تازه‌برداشت‌شده ۵ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود که این دامنه دمایی در بذرهای پس‌رسی شده که با آب مقطر تیمار شده بودند به ترتیب ۰

اعمال تیمار پس‌رسی به‌خوبی موجب رفع خفتگی و نیز افزایش دامنه دمایی جوانه‌زنی در بذرهای تیمار شده با آب مقطر شد، به طوری که دمای پایه در بذرهای بالغ

شدن دامنه دمایی شد و در بین تیمارها نیز ملاتونین ۵۰ میکرومولار بیشترین تأثیر را بر گسترده‌تر کردن دامنه دمای مطلوب (مطلوب تحتانی و فوقانی) داشت و این دامنه دمایی به ترتیب ۳۱/۰۴ و ۳/۴۸ درجه سانتی‌گراد برای دمای مطلوب تحتانی و فوقانی بوده است.

و ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود که به‌خوبی تغییر در حالت خفتگی، رفتار جوانه‌زنی و نیز تغییر در دماهای کاردینال بذرهای انجیلی را در طول پس‌رسی نشان می‌دهد. علاوه بر این، اعمال دیگر تیمارهای رفع خفتگی در ترکیب با پس‌رسی موجب تغییر در دمای کاردینال و نیز گسترده



شکل ۴. مقادیر دمای کاردینال مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده. برآوردها با استفاده از برازش یک رگرسیون خطی محاسبه شده است ($Y = a + bx$).

خفتگی فیزیولوژیک بذرهای این گونه بومی جنگلی را رفع کند. در یافته‌های پیشین دیگر پژوهشگران، افزایش ظرفیت جوانه‌زنی و نیز یکنواختی جوانه‌زنی مشاهده شده است. افزون‌بر این، نتایج نشان داد که بذرهای تازه‌برداشت‌شده انجیلی دارای خفتگی شرطی‌اند و در نتیجه در زمان رسیدگی تنها در دامنه دمایی حد واسط

نتیجه‌گیری

بذرهای بالغ تازه‌برداشت‌شده انجیلی دارای خفتگی فیزیولوژیک هستند و در نتیجه در زمان رسیدگی درصد جوانه‌زنی زیادی ندارند. در نتیجه اعمال تیمارهای رفع خفتگی از قبیل پس‌رسی، لایه‌برداری سرمایی و نیز اعمال تیمارهای هورمونی از قبیل اسید جیبرلیک می‌تواند

دماهای پایه مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و سقف) به‌خوبی توسط مدل رگرسیون غیرخطی برآورد شد که این نتایج اولین بررسی از تغییرات دماهای کاردینال این گونه تحت تأثیر تیمارهای مختلف است. با این حال نتایج برآورد مدل رگرسیون غیرخطی و نیز درصد جوانه‌زنی بذرها نشان داد که پس‌رسی تأثیر مستقیمی در رفع خفتگی بذرهای انجیلی حتی در صورت استفاده نکردن از تیمارهای هورمونی داشته است که این موضوع را می‌توان برای مصارف تجاری، پروژه‌های احیای جنگل، باغ‌های گیاه‌شناسی و نیز بانک‌های ژن برای رفع خفتگی این گونه و نیز افزایش درصد جوانه‌زنی توصیه کرد. با این حال، نویسندگان اعمال تیمار اسید جیبرلیک با سطوح مختلف را پس از دورهٔ پس‌رسی برای رفع خفتگی بذرهای انجیلی پیشنهاد می‌کنند.

جوانه می‌زنند (۱۰ تا ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) که این موضوع حاکی از وجود خفتگی شرطی نوع ۳ در بذرهای این گونهٔ بومی جنگلی است. تیمارهای رفع خفتگی موجب کاهش سطح خفتگی در بذرها شد و نیز دامنهٔ دمایی مناسب برای جوانه‌زنی بذرها را افزایش داد که در این میان اسید جیبرلیک دارای بیشترین تأثیر در بین تیمارهای استفاده‌شده بود. بدین ترتیب، تیمار بذرهای پس‌رسی شده با هورمون‌های مذکور تأثیر دوچندانی در رفع خفتگی و نیز افزایش درصد جوانه‌زنی بذرها و گسترده‌تر شدن دامنهٔ دمایی داشته است. نتایج نشان داد که تیمارهای رفع خفتگی استفاده‌شده در این پژوهش به‌خوبی موجب رفع خفتگی فیزیولوژیک بذرهای انجیلی شد و درصد جوانه‌زنی بذرها را به‌طور چشمگیری افزایش داد. همچنین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای انجیلی

References

- [1]. Nicholson, R.G. (1989). *Parrotia persica*: an ancient tree for modern landscapes. *Arnoldia*, 49(4): 34-39.
- [2]. Andrews, S. (2007). *Tree of the Year: Parrotia*. International Dendrology Society. Yearbook, 6-37.
- [3]. Browicz, K. (1982). *Chorology of trees and shrubs in South-West Asia and adjacent regions*. Vol. 1. 172pp, Poznań Poland.
- [4]. Li, J., and Tredici, P. D. (2008). The Chinese *Parrotia*: a sibling species of the *Persian Parrotia*. *Arnoldia*, 66(1): 2-9.
- [5]. Habibi, B. G., and Majnounian, B. (2008). The role of forest-and nonforest species on slope stability in the north of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10: 371-381
- [6]. Sefidi, K., Mohadjer, M. R. M., Etemad, V., and Copenheaver, C. A. (2011). Stand characteristics and distribution of a relict population of Persian ironwood (*Parrotia persica* CA Meyer) in northern Iran. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 206(5): 418-422.
- [7]. Benedict, J. C., Pigg, K. B., and DeVore, M. L. (2008). *Hamawilsonia boglei* gen. et sp. nov. (Hamamelidaceae) from the late Paleocene Almont flora of central North Dakota. *International Journal of Plant Sciences*, 169(5), 687-700.
- [8]. Maslova, N. P. (2003). Extinct and extant Platanaceae and Hamamelidaceae: morphology, systematics, and phylogeny. *Paleontological Journal*, 37(SUPPL. 5).
- [9]. Wright, D. (1982). *Hamamelidaceae*: A survey of the genera in cultivation. *Plantsman* 4:29-53.
- [10]. Dirr, M. A. (1990). *Manual of woody landscape plants: their identification, ornamental characteristics, culture, propagation and uses* (No. Ed. 4). Stipes Publishing Co.
- [11]. Baskin, C. C., and Baskin, J. M. (2014). *Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination*. 2nd Ed. Elsevier.Academic Press, San Diego, USA. 1586 p.
- [12]. Maleki, K., Soltani, E., Alahdadi, I., and Ghorbani Javid, M. (2020). Evaluation of primary conditional dormancy in seeds of oilseed rape (*Brassica napus*) produced in golestan and mazandaran provinces. *Iranian Journal of Seed Research*, 6(2): 31-43.

- [13]. Duddu, H. S., and Shirliffe, S. J. (2014). Variation of seed dormancy and germination ecology of cowcockle (*Vaccaria hispanica*). *Weed Science*, 62(3): 483-492.
- [14]. Copete, M. A., Herranz, J. M., and Ferrandis, P. (2005). Seed dormancy and germination in threatened Iberian Coincya (*Brassicaceae*) taxa. *Ecoscience*, 12(2): 257-266.
- [15]. Rostamikia, M., Tabari Kouchaksaraei, Asgharzadeh, A., and Rahmani A. (2019) Effect of cold stratification on seed germination traits in three ecotypes of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Journal of Forest and Wood Products*, 71(1): 1-12.
- [16]. Rabizade, J., Zahzad B., and Shaker, H. 2005. Study the effect of temperature, stratification-light, concentrated sulfuric acid, gibberellic acid and crust erosion on seed germination of *Parrotia persica* at laboratory condition. *Journal of Science*, 18 (2): 32-40.
- [17]. Gruber, S., Pekrun, C., and Claupein, W. (2004). Seed persistence of oilseed rape (*Brassica napus*): variation in transgenic and conventionally bred cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 142(1): 29-40.
- [18]. Payamnoor, V., Salavati, G., Aliarab, A., and Mohammadi, C. V. (2016). Overcoming seed dormancy and improving germination characteristics in *Acer monspessulanum sub turcomanicum*. *Journal of Forest and Wood Products*, 69(3): 485-494.
- [19]. Xiao, S., Liu, L., Wang, H., Li, D., Bai, Z., Zhang, Y., Sun, H., Zhang, K. and Li, C. (2019). Exogenous melatonin accelerates seed germination in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *PloS one*, 14(6): e0216575.

Modeling cardinal temperatures and germination behavior of seeds of *Parrotia persica* C.A. Meyer as affected by temperature and breaking dormancy treatments

K. Maleki*; M.Sc. Graduated, Department of Agronomy and Plant Breeding, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, I.R. Iran.

E. Soltani; Assoc., Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, I.R. Iran.

S. Heshmati; Ph. D. Graduated, Department of Agronomy and Plant Breeding, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, I.R. Iran.

(Received: 10 April 2020, Accepted: 12 June 2020)

ABSTRACT

Information regarding germination and dormancy of *Parrotia persica* seeds is very limited and there are no reports on cardinal temperatures and type of dormancy of this tree species. Thus, the purpose of this study was to determination of type of dormancy and cardinal temperature of seeds of *P. persica* and to identify the best way(s) to overcome seed dormancy in *P. persica*. In order to investigate the dormancy in *P. persica*, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with four replications at the seed technology laboratory of Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran, during 2018. In order to investigate the effect of after-ripening on breaking dormancy and germination, seeds were treated with four different treatments (control or distilled water, 100 mg gibberellin, melatonin at 50 and 100 μ M concentrations). After collecting seeds, the germination test was carried out at different temperatures (5, 10, 20 and 30°C), and the percentage and seed germination rate were recorded until 26 days. The result of this experiment showed that, fresh seeds had conditional dormancy and germinated in a narrow range of temperature conditions. The lower and upper temperature limits for fresh seeds were 5 and 20°C, respectively. The application of after-ripening and gibberellic treatments resulted in increasing germination percentage and temperature range. Among treatments, after-ripened seeds and those treated with gibberellic had the highest germination percentage while control and 50 mg melatonin had the lowest.

Keywords: Cardinal temperature, dent-like model, *Parrotia persica*, seed dormancy, seed germination. Cardinal temperature, dent-like model, *parrotia persica*, seed dormancy, seed germination.

* Corresponding Author, Email: keyvan.maleki@ut.ac.ir, Tel:+989355722731