ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی جهت توصیف پاسخ جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی (*Secale mountanum*) به دما

امید انصاری [۱،*]، فرشید قادری‌فر [۲]، فرزاد شریف‌زاده [۳]، علی مرادی [۴]

[۱] دانشجوی دکتری، علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲] دانشیار گروه زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳] دانشیار گروه زراعت، دانشگاه تهران
[۴] استادیار گروه زراعت، دانشگاه یاسوج
[*] پست الکترونیک نویسنده مسئول: Ansari_O@ut.ac.ir.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴)

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر دماهای مختلف بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) چاودار کوهی، در دماهای ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به اجرا درآمد. جهت کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی به دما از ۳ مدل رگرسیون غیرخطی دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده شد. نتایج نشان داد که دما علاوه بر درصد جوانه‌زنی بر سرعت جوانه‌زنی نیز اثرگذار است. در مقایسه ۳ مدل استفاده‌شده با توجه به پارامترهای RMSE، CV، SE و نمودار خط ۱:۱، مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال چاودار کوهی مدل دندان مانند و بتا گزارش شد؛ اما به‌دلیل بالا بودن SE برای دمای پایه و تخمین منفی دمای پایه در مدل بتا می‌توان از بین دو مدل دندان مانند و بتا، مدل دندان مانند را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل گزارش کرد. دمای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و سقف با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب بین ۲/۷۰ تا ۳/۱۷، ۲۱/۲۷ تا ۳۰/۰۰ و ۳۵/۰۰ تا ۳۵/۰۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بود؛ بنابراین با استفاده از مدل دندان مانند و پارامترهای تخمین زده شده می‌توان از این مدل در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: چاودار کوهی، دمای کاردینال، دما، مدل

مقدمه

مهم‌ترین گام در حفظ گونه‌های گیاهی و بهبود تنوع زیستی در مراتع شناخت گونه‌ها، مطالعه خصوصیات جوانه‌زنی، رویش و تکثیر آن‌هاست (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲). چاودار کوهی[1] با نام عمومی چاودار سیاه یا گندم سیاه از خانواده غلات می‌باشد. چاودار کوهی مقاوم‌ترین غله نسبت به سرما است. چاودار به‌عنوان یک غله انتخاب بسیار مناسبی از گیاهان پوششی زمستانه است به‌دلیل اینکه سریع رشد نموده و سطح خاک را می‌پوشاند این امر موجب حفظ خاک می‌گردد و دارای ریشه‌ای عمیق است که در زراعت‌های یک‌ساله از متراکم شدن و فشرده شدن خاک جلوگیری می‌کند (انصاری، ۱۳۹۱).

جوانه‌زنی فرآیندی فیزیولوژیکی است که با جذب آب شروع‌شده و با خروج ریشه‌چه از پوشش بذر کامل می‌شود؛ بنابراین این زمان جوانه‌زنی حدفاصل بین ورود آب به داخل بذر تا خروج ریشه‌چه از پوشش بذر

[1] *Secalea montanum*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

می‌باشد (بردفورد[1]، ۲۰۰۲). جوانه‌زنی و رشد گیاهچه با عوامل غیرزنده مثل شوری، خشکی و سرما کاهش می‌یابد (آل‌منصوری[2] و همکاران، ۲۰۰۱؛ اشرف[3] و همکاران، ۱۹۹۲؛ کایا[4] و همکاران، ۲۰۰۶؛ اتک[5] و همکاران، ۲۰۰۶). از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه دما می‌باشد. دما عامل تعیین‌کننده مهمی برای از بین رفتن کمون اولیه و نیز چرخه‌های کمون ثانویه به‌حساب می‌آید و علاوه بر درصد جوانه‌زنی بر سرعت جوانه‌زنی نیز اثرگذار است، به‌طوری که گزارش شده است درجه حرارت‌های بالا و پایین در چاودار کوهی علاوه بر کاهش در درصد جوانه‌زنی سبب کاهش در سرعت جوانه‌زنی نیز شده است (انصاری و شریف‌زاده، ۱۳۹۰).

مشخص شده است که افزایش دما تا حد بهینه موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود، اما افزایش بیش از حد بهینه درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (بردفورد، ۲۰۰۲؛ شفیع و پرایس[6]، ۲۰۰۱). از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرهای گیاهان در مقابل دما استفاده شده است (هاردگری[7]، ۲۰۰۶). به‌عنوان مثال با استفاده از مدل دوتکه‌ای دماهای کاردینال پایه، مطلوب و بیشینه برای گیاه خرفه به‌ترتیب ۱۱/۸، ۳۵ و ۳/۴۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (پورطوسی و همکاران، ۱۳۸۷). در آزمایش دیگر که توسط قادری فر و همکاران (۱۳۸۸) بر سه گونه از گیاهان دارویی انجام شد، با استفاده از توابع مختلف از قبیل توابع بتا، دندان مانند، دوتکه‌ای، منحنی، معادلات درجه دوم و سوم دماهای کاردینال برای این سه گونه دارویی برآورد شد که با توجه به گونه گیاهی مناسب‌ترین مدل برای هر گونه گیاهی متفاوت بود. همچنین درخشان و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از چهار مدل رگرسیونی غیرخطی دماهای کاردینال برای اویارسلام بذری (*Cyperus difformis*) را محاسبه کردند. از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به درجه حرارت توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (درخشان[8] و همکاران، ۲۰۱۳؛ کامکار[9] و همکاران، ۲۰۱۱؛ کاوه[10] و همکاران، ۲۰۱۱).

با توجه به عدم شناخت دقیق از گونه‌های مرتعی در ایران، الزامی است که مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گیرد تا با شناخت بهتری از گونه‌های مرتعی به مدیریت مراتع پرداخت. تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با بررسی تعیین دمای کاردینال چاودار کوهی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی انجام نشده است؛ بنابراین هدف از این تحقیق تعیین دمای کاردینال بذر چاودار کوهی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی و تعیین مناسب‌ترین مدل استفاده شده جهت تعیین دماهای کاردینال بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۱ در آزمایشگاه گروه زراعت پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج انجام شد.

به‌منظور بررسی اثر دما بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) چاودار کوهی، بذرها در انکوباتور در دماهای ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بذرها به‌مدت ۲ دقیقه با هیپوکلریت سدیم ۱ درصد ضدعفونی سطحی شده و سپس ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو شدند. بذرها در ۳ تکرار ۵۰ بذری به پتری دیش‌های ۱۰ سانتیمتری با ۲ لایه کاغذ صافی منتقل شدند (انصاری، ۱۳۹۱). به هر پتری‌دیش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به دماهای مشخص شده منتقل شدند. شمارش بسته به‌سرعت جوانه‌زنی ۲ الی ۳ بار در روز انجام گرفت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول ۲ میلی‌متر بود.

برای توجیه روند تغییرات مربوط به درصد جوانه‌زنی در مقابل دما از تابع لجستیک زیر استفاده شد (کامکار و همکاران، ۲۰۱۱):

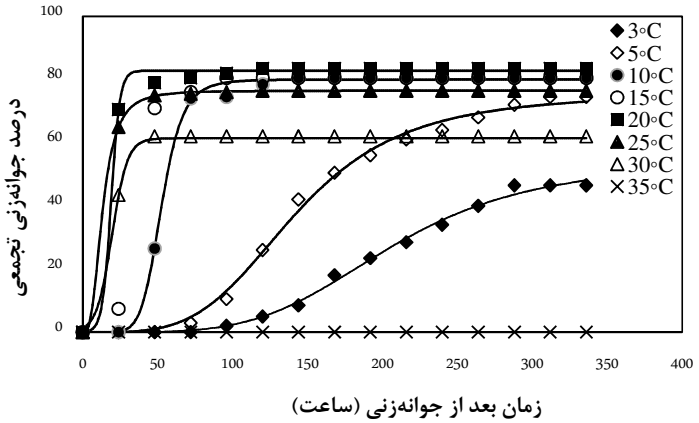
$$Y=G_{max} / (1+\exp (a (t/b))$$

[1] Bradford
[2] Almansouri
[3] Ashraf
[4] Kaya
[5] Atak
[6] Shafii and Price
[7] Hardegree
[8] Derakhshan
[9] Kamkar
[10] Cave

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

جدول ۱- معادلات مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتای برازش داده‌شده به‌سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف. T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای بیشینه، fo و a ضریب ثابت و T دما (دمای مورد آزمایش) می‌باشد.

معادله	فرمول
دندان مانند (پیپر[1] و همکاران، ۱۹۹۶)	$f(T)= (T-T_b)/(T_{o1}-T_b)$ if $Tb< T\leq T_{o1}$ $f(T)= (Tc-T)/(Tc-T_{o2})$ if $T_{o2}< T\leq T_c$ $f(T)= 1$ if $T_{o1}< T\leq T_{o2}$ $f(T)= 0$ if $T\leq T_b$ or $T\geq T_c$
دوتکه‌ای (سلطانی[2] و همکاران، ۲۰۰۶)	$f(T)= (T-T_b)/(T_o-T_b)$ if $T_b< T\leq T_o$ $f(T)= [1-(T-T_o)/(Tc-T_o)]$ if $T_o< T\leq T_c$ $f(T)= 0$ if $T\leq T_b$ or $T\geq T_c$
بتا (ین[3] و همکاران، ۱۹۹۵)	$f(T)= ((T_c-T)/(T_c-T_o))*((T-T_b)/(T_o-T_b))^{(To-Tb)/(Tc-To)}$



شکل ۱- روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در دماهای مختلف در بذر چاودار کوهی

G_{max}؛ حداکثر درصد جوانه‌زنی، b؛ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و a؛ ضریب معادله است. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از معکوس کردن زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در هر دما به‌دست آمد.

برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده شد و معادلات آن در جدول ۱ گزارش شده است. تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک نرم‌افزار سیگماپلات[4] صورت گرفت.

در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار واردکردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام می‌گیرد که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس اشتباه آزمایشی کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف[5] کمتر رگرسیون و با استفاده استفاده از میزان اریبی خط رگرسیون داده‌های شبیه‌سازی شده از خط یک به یک مشخص می‌شود (قادری فر و همکاران، ۱۳۸۸).

[1] Piper
[2] Soltani
[3] Yin
[4] SigmaPlot11
[5] RMSE

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

جدول ۲- زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی و پیش‌بینی حداکثر جوانه‌زنی با استفاده از مدل لجستیکی سه پارامتره

دما (°C)	D_{10} (h)	D_{30} (h)	D_{50} (h)	$G_{max\ (\%)}$
۳	۱۲۳/۰۱	۱۶۸/۷۶	۲۰۵/۹۷	۵۴/۰۹
۵	۸۰/۵۳	۱۱۳/۰۲	۱۴۲/۶۹	۷۵/۵
۱۰	۳۹/۰۵	۴۶/۹	۵۲/۶۷	۷۹/۹۷
۱۵	۲۳/۵	۲۹/۹۹	۳۴/۶۸	۸۰/۲۷
۲۰	۹/۵	۱۳/۷	۱۷/۰۶	۸۲/۸۷
۲۵	۱۰/۷	۱۳/۶	۱۶/۸۶	۷۶/۳۲
۳۰	۱۰/۵	۱۴/۷	۱۸/۹۳	۶۲/۱۷
۳۵	۰	۰	۰	۰

D نشان‌دهنده زمان تا رسیدن به دهک‌های مختلف می‌باشد.

نتایج و بحث

به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی برای هر دما تابع لجستیک برازش داده شد (شکل ۱). میزان R^2 برای تمامی درجه حرارت‌ها ۰/۹۹ بود. با استفاده از برازش این مدل در هر دما، زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی جهت تعیین دمای کاردینال برای رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی محاسبه شد.

حداکثر درصد جوانه‌زنی و زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی تخمین زده شده توسط این مدل در جدول ۲ گزارش شده است. با توجه به ضرایب، درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با میانگین ۸۲/۸۷ درصد بالاترین درصد جوانه‌زنی بود و در دماهای بالاتر و پایین‌تر از این دما کاهش یافت (جدول ۲). کمترین زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی مربوط به دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲). زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی در جدول ۲ نمایش داده شده‌اند.

زمان رسیدن به دهک‌های مختلف در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد کمترین مقادیر بودند که نشان‌دهنده حداکثر سرعت جوانه‌زنی در این بازه دمایی می‌باشد، در دماهای بالاتر و پایین‌تر از این محدوده مدت‌زمان رسیدن به دهک‌های مختلف افزایش‌یافته که نشان‌دهنده کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌باشد. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذر چاودار کوهی در دماهای بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب در این پژوهش می‌تواند به دلیل اختلال در جذب آب در این دماها و همچنین زوال بذر در دماهای بالاتر از حد مطلوب باشد. به‌طور کلی با محاسبه دهک‌های مختلف می‌توان زمان‌های مختلف سبز شدن را پیش‌بینی کرد، به‌عنوان مثال با محاسبه زمان رسیدن به ۱۰ درصد می‌توان شروع جوانه‌زنی را برای هر بذری پیش‌بینی کرد.

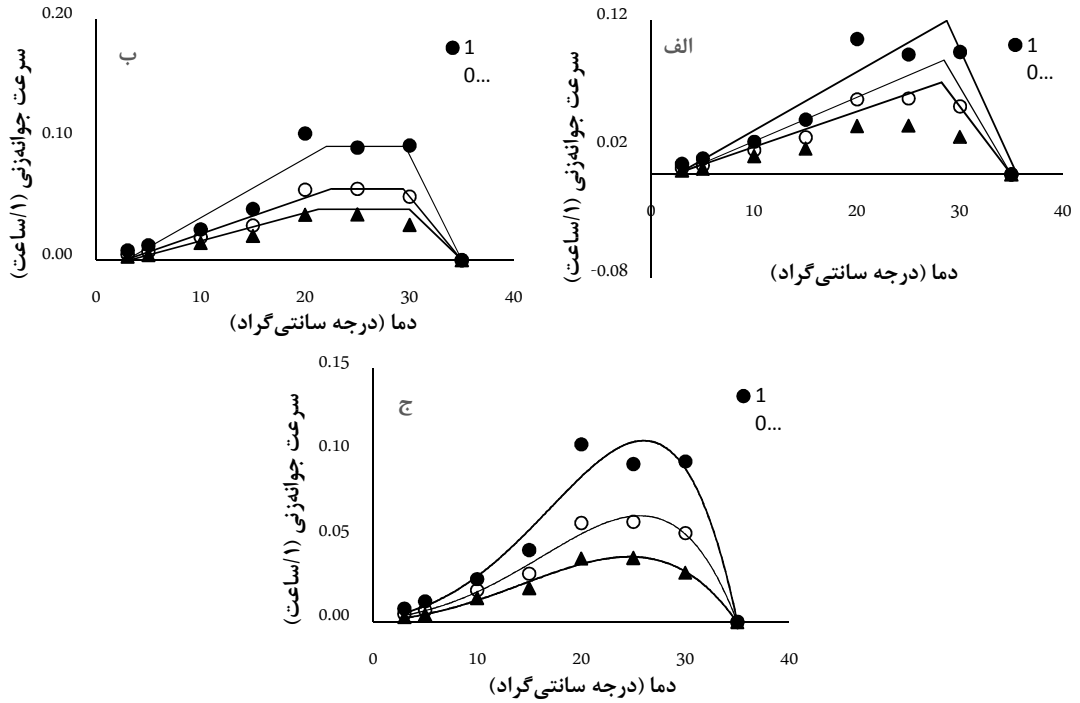
برای گیاه چاودار کوهی گزارش شده است که دمای پایین‌تر از ۲۰ و بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی اثرگذار است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۰). در دیگر گیاهان توسط بسیاری از محققین چنین نتایجی گزارش شده است (قادری فر و همکاران، ۱۳۸۸؛ کاوه و همکاران، ۲۰۱۲).

دمای پایه، دمای مطلوب و دمای بیشینه برای زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی در جدول ۳ گزارش شده است، نتایج نشان داد که دمای پایه برای زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی از لحاظ آماری با هم تفاوتی ندارند (جدول ۳). دمای پایه تعیین‌شده با استفاده از مدل دوتکه‌ای برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی بین ۲/۹۲ تا ۲/۴۹ درجه سانتی‌گراد در حال تغییر بود ولی از لحاظ آماری تفاوتی نداشتند. دمای مطلوب و دمای بیشینه برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی با استفاده از مدل دوتکه‌ای به‌ترتیب بین ۲۸/۲۳ تا ۲۸/۷۲ و ۳۵/۰۰ تا ۳۵/۵۷ درجه سانتی‌گراد در حال تغییر بود. دمای پایه، مطلوب و بیشینه برای زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی با استفاده

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

جدول ۳- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_m) و تعداد ساعات بیولوژیکی (f_o) برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی در بذر چاودار کوهی

مدل	پارامترهای مدل	زمان رسیدن به دهک‌های مختلف جوانه‌زنی		
		۱۰٪	۳۰٪	۵۰٪
دوتکه‌ای	T_b	۲/۴۹±۲/۴۳	۲/۴۸±۱/۷۵	۲/۲۴±۱/۵۸
	T_o	۲۸/۷۲±۱/۰۸	۲۸/۴۷±۰/۸۴	۲۸/۲۳±۰/۷۹
	T_m	۳۵/۵۷±۱/۲	۳۵/۰۰±۰/۶۵	۳۵/۰۰±۰/۶۰
	f_o	۸/۳۶±۰/۸۸	۱۱/۲۴±۰/۸۶	۱۳/۹۸±۰/۹۴
دندان مانند	T_b	۳/۱۷±۲/۲۶	۲/۸۶±۱/۸۷	۲/۷۰±۱/۶۱
	T_{o1}	۲۱/۲۷±۲/۵۷	۲۲/۰۰±۳/۶۹	۲۲/۵۱±۳/۱۰
	T_{o2}	۳۰/۰۰±۱/۶۲	۲۹/۵۹±۱/۰۵	۲۹/۳۹±۰/۹۶
	T_m	۳۵/۰۵±۰/۴۷	۳۵/۰۰±۰/۷۱	۳۵/۰۰±۰/۶۳
	f_o	۲۳/۵۷±۱/۱۵	۱۳/۶±۱/۷۹	۱۶/۸۶±۱/۹۰
بتا	T_b	-۸/۰۹±۱۷/۲۵	-۹/۳۲±۱۲/۲۹	-۸/۳۳±۹/۶۶
	T_o	۲۶/۰۱±۱/۲۱	۲۵/۹۸±۰/۸۱	۲۵/۶۵±۰/۷۳
	T_m	۳۵/۰۲±۰/۴۶	۳۵/۰۰±۰/۳۱	۳۵/۰۰±۰/۲۸
	f_o	۹/۳۱±۰/۷۹	۱۲/۶۴±۰/۷۱	۱۵/۹۰±۰/۷۸



شکل ۲- رابطه سرعت جوانه‌زنی برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی در مقابل دما با استفاده از مدل دوتکه‌ای (الف)، دندان مانند (ب) و بتا (ج)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

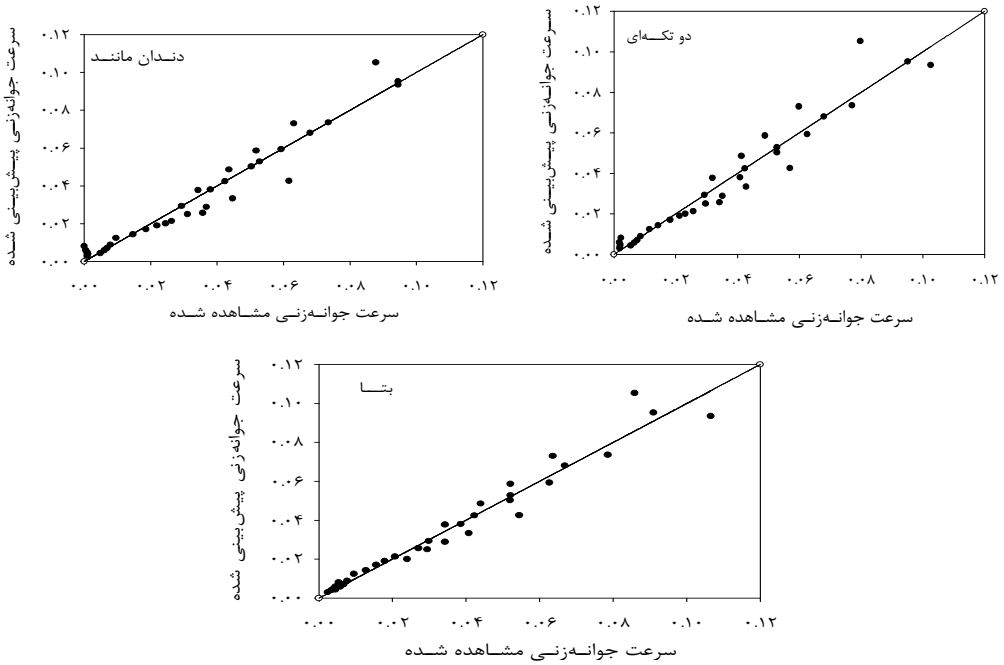
از مدل دندان مانند به‌ترتیب بین ۲/۷۰ تا ۳/۱۷، ۲۱/۲۷ تا ۲۲/۵۱ و ۳۵ تا ۳۵/۰۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. با استفاده از مدل بتا برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی، تخمین دمای پایه دارای خطای بالایی بود و توسط مدل بتا به‌صورت منفی برآورد شد (جدول ۳). دمای مطلوب با استفاده از مدل بتا بین ۲۵/۶۵ تا ۲۶/۰۱ درجه سانتی‌گراد در حال تغییر بود و دمای بیشینه بین ۳۵/۰۰ تا ۳۵/۰۲ درجه سانتی‌گراد در حال نوسان بود. در شکل ۲ واکنش سرعت جوانه‌زنی برای دهک‌های مختلف جوانه‌زنی در برابر زمان گزارش شده است.

نمودار خط ۱:۱ سرعت جوانه‌زنی برای رسیدن دهک‌های مختلف جوانه‌زنی مشاهده در مقابل سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده در شکل ۳ گزارش شده است. در جدول ۴؛ RMSE، CV و ضرایب رگرسیون a و b نشان داده شده‌اند که RMSE و CV پائین نشان‌دهنده دقت بالاتر در مدل می‌باشد.

از مدل‌های رگرسیون غیرخطی جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرهای گیاهان در مقابل دما استفاده شده است (هاردگری، ۲۰۰۶). به‌عنوان مثال با استفاده از مدل دوتکه‌ای دماهای کاردینال پایه، مطلوب و بیشینه برای گیاه خرفه به‌ترتیب ۱۱/۸، ۳۵ و ۳/۴۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (پورطوسی و همکاران، ۱۳۸۷). در آزمایش دیگر که توسط قادری‌فر و همکاران (۱۳۸۸) روی سه گونه از گیاهان دارویی انجام شد، با استفاده از توابع مختلف از قبیل توابع بتا، دندان مانند، دوتکه‌ای، منحنی، معادلات درجه دوم و سوم دماهای کاردینال برای این سه گونه دارویی برآورد شد که با توجه به گونه گیاهی بهترین مدل برای هر گونه گیاهی متفاوت بود. همچنین سایر محققین با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی دماهای کاردینال برای تعدادی دیگر از گیاهان محاسبه کردند و برای مقایسه مدل‌ها از RMSE، CV و شاخص آکائیک (AICc) استفاده کردند (درخشان و همکاران، ۲۰۱۲؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱).

با توجه به پارامترهای ذکرشده و نمودار خط ۱:۱ (شکل ۳) سرعت جوانه‌زنی برای رسیدن به دهک‌های جوانه‌زنی بهترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال چاودار کوهی را می‌توان مدل دندان مانند و بتا گزارش کرد. به‌طورکلی هر چه RMSE و CV در مدل‌ها پایین‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی دقت بالاتر مدل نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد؛ و هر چه se مربوط به تخمین دماهای کاردینال کمتر باشد مدل از دقت بالاتری برخوردار است بنابراین به دلیل مقدار بالای se برای مدل بتا (جدول ۳) می‌توان از بین دو مدل دندان مانند و بتا، مدل دندان مانند را به‌عنوان بهترین مدل گزارش کرد.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]



شکل ۳- مقادیر سرعت جوانه‌زنی مشاهده‌شده در مقابل سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده بذر چاودار کوهی با استفاده از ۳ مدل دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا

جدول ۴- جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضرب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما در بذر چاودار کوهی

مدل	A	b	R^2	CV%	RMSE
دوتکه‌ای	-۰/۰۰۰۰۰۳	۱/۰۰۰۲**	۰/۹۴	۱۹/۴۵	۰/۰۰۶۸۷
دندان مانند	۰/۰۰۰۰۰۱۸	۱/۰۰۱۲**	۰/۹۵	۱۷/۷۷	۰/۰۰۶۲۸
بتا	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹**	۰/۹۶	۱۶/۹۱	۰/۰۰۶۰۶

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش و کاهش دما به پایین‌تر از حد مطلوب سرعت و درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در مقایسه ۳ مدل استفاده‌شده با توجه به پارامترهای RMSE، CV، se و نمودار خط ۱:۱ بهترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال چاودار کوهی مدل دندان مانند و بتا بود؛ اما به‌دلیل بالا بودن اشتباه آزمایشی برای دمای پایه و تخمین منفی دمای پایه در مدل بتا می‌توان از بین دو مدل دندان مانند و بتا، مدل دندان مانند را به‌عنوان بهترین مدل گزارش کرد؛ بنابراین با استفاده از مدل دندان مانند و پارامترهای تخمین زده شده می‌توان از این مدل در تهیه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی استفاده کرد.

منابع

انصاری، ا. ۱۳۹۱. پرایمینگ بذر چاودار (*Secale mountanum*) با استفاده از تیمارهای هورمونی، اسمزی و تأثیر تیمارهای پس از پرایمینگ بر کیفیت و طول عمر بذرهای پرایم شده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران. ۲۵۵ صفحه.

انصاری، ا. و شریف‌زاده، ف. ۱۳۹۰. اثر تنش اسمزی و دما بر جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی (*Secale mountanum*). مجله علوم و تکنولوژی بذر، ۱(۱): ۴۰-۳۴.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

پورطوسی، ن. راشد محصل، م.ح. و ایزدی دربندی، ا. ۱۳۸۷. تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای خرفه، سلمه و علف خرچنگ. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۶(۲): ۲۶۱-۲۰۵.

درخشان، ا. قرخلو، ج. و پروار، ع. ۱۳۹۲. برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی موردنیاز برای جوانه‌زنی بذر اویارسلام بذری (*Cyperus difformis*). مجله دانش علف‌های هرز، ۹(۱): ۳۸-۲۷.

عظیمی، ر. خواجه‌حسینی، م. و فلاح‌پور، ف. ۱۳۹۲. بررسی خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه برموس (*Bromus kopetdaghensis* Drobov) تحت تأثیر تیمارهای مختلف دمایی. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۷(۲): ۲۶۱-۲۵۳.

قادری‌فر، ف. سلطانی، ا. و صادقی‌پور، ح. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در کمی‌سازی جوانه‌زنی کدو تخم کاغذی، براگو و سیاه‌دانه به دما. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۱۶(۴): ۱۹-۱.

Almansouri, M., Kinet, J.M., and Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Plant Soil, 231(2): 243-254.

Ashraf, M., Bokhari, H., and Cristiti, S. N. 1992. Variation in osmotic adjustment of lentil (*Lens culimaris* Medic) in response to drought. Acta Botanica Neerlandica, 41(1): 51-62.

Atak, M., Kaya, M D., Kaya, G., Cıkılı, Y., and Ciftçi, C.Y. 2006. Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30(1): 39-47.

Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50(2): 248-260.

Cave, R.L., Brich, C.J., Harmmer, G.L., Erwin, J.E., and Johston, M.E, 2011. Cardinal temperatures and thermal time for seed germination of *Brunonia australis* (Goodeniaceae) and *calandrinia* sp. (Portulacaceae). HortScience, 45(5): 753-758.

Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, R.B., and De Prado, R. 2013. Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. Weed Science, 62(2): 250-257.

Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. Annals of Botany, 97(6): 1115-1125.

Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., and Mahdavi-Damghani, A. 2011. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. Industrial Crops and Products, 35(1): 192-198.

Kaya M.D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y., and Kolsarıcı, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy, 24(4): 291-295.

Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Science, 36(6): 1606–1614.

Shafii, B., and Price, W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 6(3): 356–366

Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology, 138(1): 156–167.

Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G., and Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agricultural and Forest Meteorology, 77(1): 1–16.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]

Iranian Journal of Seed Research, Vol: 3(2), 2017

Evaluation of Nonlinear Regression Models to Describe Seed Germination Response of Mountain Rye (*Secale mountanum*) to Temperature

Omid Ansari [1,*], Farshid Ghaderifar [2], Farzad Sharif Zadeh [3], Ali Moradi [4]

[1] *PhD Student of Seed Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran*
[2] *Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran*
[3] *Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran*
[4] *Assistant Professor, College of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran*

[*]Corresponding author, E-mail address: Ansari_O@ut.ac.ir

(Received: 24.06.2015 ; Accepted: 24.05.2016)

Abstract

The present study sought to evaluate the effect of different temperatures on germination and to determine cardinal temperatures (i.e., base, optimum and maximum) of *Secale mountanum* at temperatures of 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35°C. Three nonlinear regression models (i.e., segmented, dent-like and beta) were used for quantifying the response of germination rate to temperature. The results showed that in addition to germination percentage, temperature has a significant impact on germination rate. Given the root mean square of errors (RMSE) of germination time, the coefficient of determination (R^2), the simple linear regression coefficients *a* and *b*, and the relationship between the observed and the predicted germination rates, the best models for determination of cardinal temperatures of *Secale mountanum* were dent-like and beta models. Base, optimum and maximum temperatures were estimated to be about 2.70 to 3.17, 21.27 to 30.00 and 35.00 to 35.05°C, respectively for the dent-like model. However, given the high value of SE for temperature base and negative estimate of the base temperature of the beta model, one can report the dent-like model as the right model. Therefore, by using the dent-like model and the estimated parameters, it is possible to use this model for predicting germination.

Keywords: Secale mountanum, Cardinal temperatures, Temperature, Model

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.23831251.1395.3.2.5.6]
[DOI: 10.29252/yujs.3.2.31]