

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

امید انصاری<sup>۱\*</sup>، فرشید قادری فر<sup>۲</sup>، فرزاد شریف‌زاده<sup>۳</sup>، علی مرادی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup> دانشیار گروه زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۳</sup> دانشیار گروه زراعت، دانشگاه تهران

<sup>۴</sup> استادیار گروه زراعت، دانشگاه یاسوج

\*پست الکترونیک نویسنده مسئول: [Ansari\\_O@ut.ac.ir](mailto:Ansari_O@ut.ac.ir)

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

### چکیده

این تحقیق بهمنظور بررسی اثر دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) چاودار کوهی، در دمای ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به اجرا درآمد. جهت کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر چاودار کوهی به دما از ۳ مدل رگرسیون غیرخطی دو تکه‌ای، 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 استفاده شده با توجه به پارامترهای SE، CV، RMSE و نمودار خط ۱:۱، مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دمای کاردینال چاودار کوهی مدل دندان مانند و بتا گزارش شد؛ اما به دلیل 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 به عنوان مناسب‌ترین مدل گزارش کرد. دمای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و سقف با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب 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

پوششی زمستانه است به دلیل 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 شروع شده 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

مهم‌ترین گام در حفظ گونه‌های گیاهی و بهبود تنوع زیستی در مراتع شناخت گونه‌ها، مطالعه خصوصیات جوانه‌زنی، رویش و تکثیر آن هاست (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲). چاودار کوهی<sup>۱</sup> با نام عمومی چاودار سیاه یا گندم سیاه از خانواده غلات می‌باشد. چاودار کوهی مقاوم‌ترین غله نسبت به سرما است. چاودار به عنوان یک غله انتخاب بسیار مناسبی از گیاهان

<sup>۱</sup> *Secalea montanum*

واکنش جوانهزنی به درجه حرارت توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (درخشان<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ کامکار<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ کاوه<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به عدم شناخت دقیق از گونه‌های مرتعی در ایران، الزاماً است که مطالعات گسترشده‌ای در این زمینه صورت گیرد تا با شناخت بهتری از گونه‌های مرتعی به مدیریت مرتع 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 ضدغونی 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 پتری دیش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به دماهای مشخص شده منتقل شدند. شمارش بسته به سرعت 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):

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

<sup>8</sup> Derakhshan

<sup>9</sup> Kamkar

<sup>10</sup> Cave

می‌باشد (بردفورد<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). جوانهزنی و رشد گیاهچه با عوامل غیرزنده مثل شوری، خشکی و سرما کاهش می‌یابد (آل‌منصوری<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۱؛ اشرف<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۲؛ کایا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ اتک<sup>۵</sup> 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 به حساب 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<sup>۶</sup>، ۲۰۰۱). از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای کمی‌سازی واکنش جوانهزنی و سبب شدن بذرهای گیاهان در مقابل دما استفاده شده است (هاردگری<sup>۷</sup>، ۲۰۰۶). به عنوان مثال با استفاده از مدل دوتکه‌ای دماهای کاردینال پایه، مطلوب و بیشینه برای گیاه خرفه به ترتیب 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

<sup>1</sup> Bradford

<sup>2</sup> Almansouri

<sup>3</sup> Ashraf

<sup>4</sup> Kaya

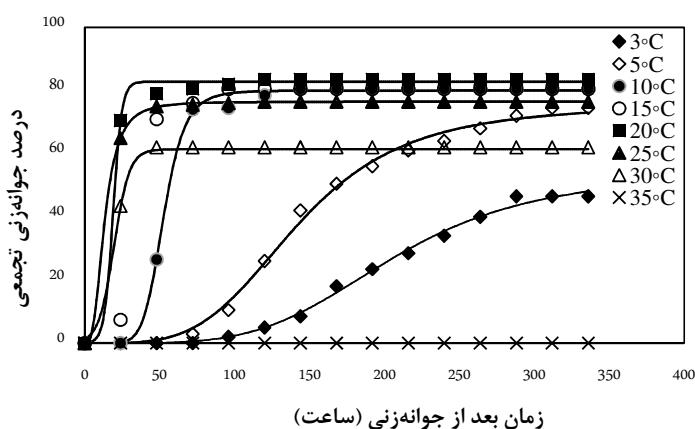
<sup>5</sup> Atak

<sup>6</sup> Shafii and Price

<sup>7</sup> Hardegree

**جدول ۱**- معادلات مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتای برآش داده شده به سرعت جوانهزنی در دماهای مختلف.  $T_b$  دمای پایه،  $T_{o1}$  دمای مطلوب تحتانی،  $T_{o2}$  دمای مطلوب فوقانی،  $T_c$  دمای بیشینه،  $f_o$  و ضریب ثابت و  $T$  دمای (دمای مورد آزمایش) می‌باشد.

معادله	فرمول
دندان مانند (پیپر <sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۶)	$f(T) = \begin{cases} (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) & \text{if } T_b < T \leq T_{o1} \\ (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) & \text{if } T_{o2} < T \leq T_c \\ 1 & \text{if } T_{o1} < T \leq T_{o2} \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases}$
دوتکه‌ای (سلطانی <sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶)	$f(T) = \begin{cases} (T - T_b) / (T_o - T_b) & \text{if } T_b < T \leq T_o \\ [1 - (T - T_o) / (T_c - T_o)] & \text{if } T_o < T \leq T_c \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases}$
بتا (ین <sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۵)	$f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_o)) * ((T - T_b) / (T_o - T_b))^{(T_o - T_b) / (T_c - T_o)}$



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

در روش مطلوبسازی تکراری با هر بار وارد کردن 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 اشتباہ آزمایشی کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف<sup>۴</sup> کمتر رگرسیون و با استفاده از میزان اریبی خط رگرسیون داده‌های شبیه‌سازی شده از خط یک به یک مشخص می‌شود (قادری فر و همکاران، ۱۳۸۸).

$G_{max}$ : حداقل 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 بدست آمد. برای کمی‌سازی واکنش جوانهزنی به دما و تعیین دماهای کار دینال 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<sup>۵</sup> صورت گرفت.

<sup>1</sup> Piper

<sup>2</sup> Soltani

<sup>3</sup> Yin

<sup>4</sup> SigmaPlot11

<sup>5</sup> RMSE

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

دما (°C)	D <sub>10</sub> (h)	D <sub>30</sub> (h)	D <sub>50</sub> (h)	G <sub>max</sub> (%)
۳	۱۲۳/۰۱	۱۶۸/۷۶	۲۰۵/۹۷	۵۴/۰۹
۵	۸۰/۰۳	۱۱۳/۰۲	۱۴۲/۶۹	۷۵/۵
۱۰	۳۹/۰۵	۴۶/۹	۵۷/۶۷	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.

اختلال در جذب آب در این دمایا و همچنین زوال بذر در دمایا بالاتر از حد مطلوب باشد. بهطور کلی با محاسبه دهکهای مختلف می‌توان زمان‌های مختلف سبز شدن را پیش‌بینی کرد، به عنوان 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 به طور 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 فرو 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 تعیین شده با استفاده از مدل دوتكهای 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 دوتكهای به ترتیب 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

## نتایج و بحث

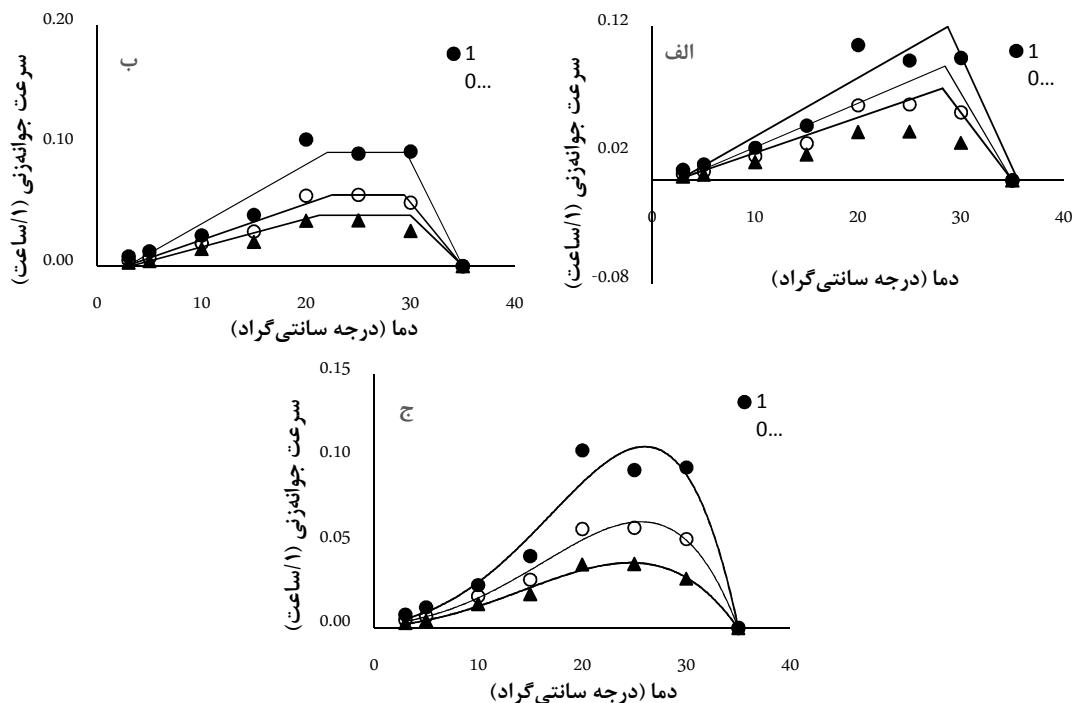
به داده‌های درصد جوانهزنی تجمعی برای هر دما تابع لجستیک برازش داده شد (شکل ۱). میزان R<sup>2</sup> برای تمامی درجه حرارت‌ها ۰/۹۹ بود. با استفاده از برازش این مدل در هر دما، زمان رسیدن به دهکهای مختلف جوانهزنی جهت تعیین دمای کاردینال برای رسیدن به دهکهای مختلف جوانهزنی محاسبه شد.

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 دمایا بالاتر و پایین‌تر از این دما کاهش یافت (جدول ۲). کمترین زمان رسیدن به دهکهای مختلف جوانهزنی مربوط به دمایا 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 دمایا ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دمایا ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد کمترین مقادیر بودند که نشان‌دهنده حداکثر سرعت جوانهزنی در این بازه دمایی می‌باشد، در دمایا بالاتر و پایین‌تر از این محدوده مدت‌زمان رسیدن به دهکهای مختلف افزایش یافته که نشان‌دهنده کاهش سرعت جوانهزنی می‌باشد. کاهش درصد و سرعت جوانهزنی در بذر چاودار کوهی در دمایا بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب در این پژوهش می‌تواند به دلیل

**جدول ۳**- برآورد دمای پایه ( $T_b$ )، دمای مطلوب ( $T_0$ )، دمای مطلوب تحتانی ( $T_{01}$ )، دمای مطلوب فوقانی ( $T_{02}$ )، دمای بیشینه ( $T_m$ ) و تعداد ساعت بیولوژیکی ( $f_0$ ) برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی در بذر چاودار کوهی

مدل	پارامترهای مدل	زمان رسیدن به دهکهای مختلف جوانه‌زنی		
		۵۰٪	۳۰٪	۱۰٪
$T_b$		۲/۲۴±۱/۵۸	۲/۴۸±۱/۷۵	۲/۴۹±۲/۴۳
$T_o$		۲۸/۲۳±۰/۷۹	۲۸/۴۷±۰/۸۴	۲۸/۷۲±۱/۰۸
$T_m$		۳۵/۰۰±۰/۶۰	۳۵/۰۰±۰/۶۵	۳۵/۵۷±۱/۲
$f_0$		۱۳/۹۸±۰/۹۴	۱۱/۲۴±۰/۸۶	۸/۳۶±۰/۸۸
$T_b$		۲/۷۰±۱/۶۱	۲/۸۶±۱/۸۷	۳/۱۷±۲/۲۶
$T_{01}$		۲۲/۵۱±۳/۱۰	۲۲/۰۰±۳/۶۹	۲۱/۲۷±۲/۵۷
$T_{02}$		۲۹/۳۹±۰/۹۶	۲۹/۵۹±۱/۰۵	۳۰/۰۰±۱/۶۲
$T_m$		۳۵/۰۰±۰/۶۳	۳۵/۰۰±۰/۷۱	۳۵/۰۵±۰/۴۷
$f_0$		۱۶/۸۶±۱/۹۰	۱۳/۶±۱/۷۹	۲۲/۵۷±۱/۱۵
$T_b$		-۸/۳۳±۹/۶۶	-۹/۳۲±۱۲/۲۹	-۸/۰۹±۱۷/۲۵
$T_o$		۲۵/۶۵±۰/۷۳	۲۵/۹۸±۰/۸۱	۲۶/۰۱±۱/۲۱
$T_m$		۳۵/۰۰±۰/۲۸	۳۵/۰۰±۰/۳۱	۳۵/۰۲±۰/۴۶
$f_0$		۱۵/۹۰±۰/۷۸	۱۲/۶۴±۰/۷۱	۹/۳۱±۰/۷۹



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

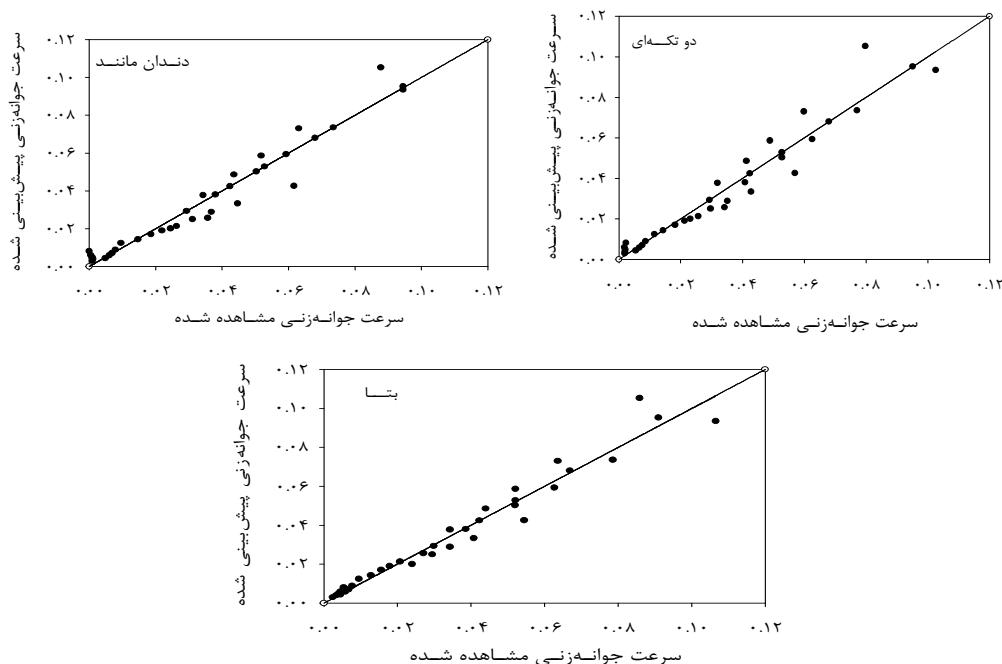
مدل‌ها از RMSE، CV و شاخص آکائیک (AICc) استفاده کردند (درخشان و همکاران، ۲۰۱۲؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱).

با توجه به پارامترهای ذکر شده 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. به طور کلی 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 برای مدل بتا (جدول ۳) می‌توان از بین دو مدل دندان مانند و بتا، مدل دندان مانند را به عنوان بهترین مدل گزارش کرد.

از مدل دندان مانند به ترتیب 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 بالای بود و توسط مدل بتا به صورت 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 ۳۵/۰۲ تا ۳۵/۰۰ 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 و ضرایب رگرسیون a و b نشان داده شده‌اند که CV و RMSE و CV پایین 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). به عنوان مثال با استفاده از مدل دوتکه‌ای دماهای کاردینال پایه، مطلوب و بیشینه برای گیاه خرفه به ترتیب 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



شکل ۳- مقادیر سرعت جوانهزنی مشاهده شده در مقابل سرعت جوانهزنی پیش‌بینی شده 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
دو تکهای	-۰/۰۰۰۰۰۳	۱/۰۰۰۲**	۰/۹۴	۱۹/۴۵	۰/۰۰۶۸۷
دندان مانند	۰/۰۰۰۰۱۸	۱/۰۰۱۲**	۰/۹۵	۱۷/۷۷	۰/۰۰۶۲۸
بتا	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹**	۰/۹۶	۱۶/۹۱	۰/۰۰۶۰۶

به دلیل بالا بودن اشتباہ 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 به عنوان 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.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش و کاهش دما به پایین‌تر از حد مطلوب سرعت و درصد جوانهزنی به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در مقایسه ۳ مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای RMSE، CV، se و نمودار خط ۱:۱ بهترین مدل جهت تخمین دمای دهی کار دینال چاودار کوهی مدل دندان مانند و بتا بود؛ اما

### منابع

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

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

- 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): ۲۰۵-۲۶۱.
- درخشان، ا. قرخلو، ج. و پروار، ع. ۱۳۹۲. برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی موردنیاز برای جوانهزنی بذر اوپارسلام بذری (*Cyperus difformis*). مجله دانش علوفه‌های هرز، ۹(۱): ۲۷-۳۸.
- عظیمی، ر. خواجه‌حسینی، م. و فلاحبور، ف. ۱۳۹۲. بررسی خصوصیات جوانهزنی بذر گیاه بروموس ( *Bromus kopotdagensis* Drobov) تحت تأثیر تیمارهای مختلف دمایی. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۷(۲): ۲۵۳-۲۶۱.
- قادری‌فر، ف. سلطانی، ا. و صادقی‌پور، ح. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در کمی‌سازی جوانهزنی کدو تخم کاغذی، برآگو و سیاهدانه به دما. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۱۶(۴): ۱-۱۹.
- 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 culinaris* Medic) in response to drought. Acta Botanica Neerlandica, 41(1): 51-62.
- Atak, M., Kaya, M D., Kaya, G., Cikili, Y., and Ciftci, 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 Johnston, 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., Cikili, Y., and Kolsarici, 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.

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

**Omid Ansari<sup>1,\*</sup>, Farshid Ghaderifar<sup>2</sup>, Farzad Sharif Zadeh<sup>3</sup>, Ali Moradi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> PhD Student of Seed Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, College of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

\*Corresponding author, E-mail address: [Ansari\\_O@ut.ac.ir](mailto: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 montanum* 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 montanum* 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 montanum*, Cardinal temperatures, Temperature, Model