

مقاله پژوهشی

کمی‌سازی اثر پرایمینگ بذر کلزا (*Brassica napus*) رقم ظفر در واکنش به دما با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیر خطیسپیده نیکومرام^۱، نعیمه بیاتیان^۲، امید انصاری^{۳*}

چکیده مبسوط

مقدمه: دما یکی از عوامل اولیه مهم کنترل کننده جوانه‌زنی می‌باشد. امروزه شیوه پیش‌تیمار بذر به عنوان عامل بهبود دهنده جوانه‌زنی و استقرار تحت تنش‌های محیطی معرفی شده است. با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی می‌توان پاسخ جوانه‌زنی بذر به دما و پرایمینگ بذر را کمی‌سازی کرد؛ بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی اثر دما و پرایمینگ بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) بذر کلزا به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها: تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف پرایمینگ بذر (بذر بدون پرایمینگ، پرایمینگ با آب، اسید جیبرلیک ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) بود. با استفاده از مدل لجستیک ۳ پارامتره، جوانه‌زنی بذر کلزا به سطوح مختلف دما و پرایمینگ بذر کمی‌سازی شد و درصد و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی به دست آمد. جهت کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر کلزا به دما از ۳ مدل رگرسیون غیرخطی دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده شد. جهت مقایسه مدل‌ها و تعیین مناسب‌ترین مدل از شاخص ریشه میانگین مربعات، ضریب تبیین، ضریب تغییرات و خطای استاندارد برای درصد جوانه‌زنی مشاهده شده در مقابل جوانه‌زنی واقعی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که دما و پرایمینگ علاوه بر درصد جوانه‌زنی بر سرعت جوانه‌زنی نیز اثر گذار بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما تا دمای مطلوب، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و استفاده از تیمار پرایمینگ بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد. در مقایسه ۳ مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای آماری مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال کلزا برای تیمار بدون پرایمینگ مدل دو تکه‌ای و برای تیمار پیش‌انداز شده با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و آب مدل دو تکه‌ای و دندان مانند و برای تیمار پیش‌انداز شده با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مدل دندان مانند بود. نتایج نشان داد که دمای پایه برآورد شده با استفاده از مدل دو تکه‌ای برای بذر بدون پرایمینگ، پرایمینگ با آب، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۳/۵۴، ۲/۵۷، ۲/۳۴ و ۲/۳۴ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب ۳/۳۴، ۲/۴۵، ۲/۲۱ و ۲/۸۳ درجه سلسیوس بود. دمای مطلوب با استفاده از مدل دو تکه‌ای به ترتیب ۲۴/۶۲، ۲۳/۲۳، ۲۳/۶۹ و ۲۴/۳۸ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا ۲۷/۱۸، ۲۷/۶۶، ۲۷/۸۷ و ۲۷/۱۱ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۰/۰۱ و ۱۹/۶۲، ۱۹/۲۵ و ۱۶/۸۷ و ۲۸/۸۱ و ۲۷/۳۸ و ۲۹/۵۸ و ۲۷/۳۱ درجه سلسیوس، دمای سقف با استفاده از مدل دو تکه‌ای ۴۰/۰۷، ۴۰/۵۲، ۴۰/۴ و ۴۰/۵۶ و با استفاده از مدل دندان مانند ۴۰/۱۷، ۴۰/۳۵، ۳۹/۶۱ و ۴۰/۹۱ درجه سلسیوس برآورد شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی (دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا) جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا به سطوح مختلف پرایمینگ بذر و دماهای مختلف دارای نتایج قابل قبولی بود؛ بنابراین با استفاده از خروجی این مدل‌ها در دماهای مختلف می‌توان سرعت جوانه‌زنی را در تیمارهای مختلف پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ بذر، جوانه‌زنی، دماهای کاردینال، کلزا، مدل‌های رگرسیون غیرخطی

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- اثر دما و پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر کلزا بررسی شد.
- ۲- دامنه دمایی جوانه‌زنی بذر کلزا تحت شرایط استفاده از تیمار پرایمینگ بذر تغییر می‌یابد.

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه

تهران

^۳ دانش‌آموخته دکتری رشته علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه

بیرجند

^{*} منابع طبیعی گرگان

* رایانامه نویسنده مسئول: omid0091@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳)



CrossMark

مقدمه

از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه دما می‌باشد که علاوه بر درصد جوانه‌زنی بر سرعت جوانه‌زنی نیز اثر گذار است، به‌طوری که گزارش شده است درجه حرارت‌های بالا و پایین علاوه بر کاهش درصد جوانه‌زنی، سبب کاهش سرعت جوانه‌زنی نیز شده است (انصاری^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). حساس‌ترین مراحل فرآیند جوانه‌زنی به تنش‌های غیرزنده مراحل یک (جذب فیزیکی آب) و دو (شروع فرآیندهای بیوشیمیایی و هیدرولیز قندها) می‌باشد (چن و آرورا^۲، ۲۰۱۳). اگر در این مراحل آب به‌صورت کنترل شده در اختیار بذر قرار گیرد و یا این که بذر پس از اتمام این مراحل در معرض شرایط نامساعد قرار گیرد، اثر تنش کاهش یافته و بذر به‌خوبی جوانه می‌زند. مرحله جذب آب برای شروع جوانه‌زنی بذرها ضروری می‌باشد و به دنبال جذب آب، فعالیت آنزیمی، شروع رشد جنین، شکافتن پوسته بذر و سبز شدن گیاهچه‌ها حادث می‌شود (اشرف و فولاد^۳، ۲۰۰۵). از جمله تیمارهای افزایش دهنده قدرت بذر پرایمینگ بذر می‌باشد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲).

از آنجایی که زمان جوانه‌زنی عامل مهمی در تعیین برنامه‌های مدیریتی گیاهان مختلف محسوب می‌شود، لذا دانستن زمان جوانه‌زنی و زمان سبز شدن در مزرعه بسیار مفید خواهد بود. به‌طور کلی، دما نه تنها بر درصد جوانه‌زنی بلکه بر سرعت جوانه‌زنی هم اثر گذار است (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶؛ برادفورد^۴، ۲۰۰۲). اثر درجه حرارت بر جوانه‌زنی بر حسب درجه حرارت‌های اصلی یعنی دمای حداقل، مطلوب و حداکثر بیان می‌شوند و جوانه‌زنی در این محدوده حرارتی رخ می‌دهد. دمای مطلوب بر حسب تعریف دمایی است که در آن بیشترین درصد جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین دوره زمانی انجام می‌شود. به‌طور کلی سرعت جوانه‌زنی بین دماهای پایه و بهینه افزایش می‌یابد، بین دماهای بهینه و بیشینه کاهش می‌یابد و فراتر از دمای بیشینه و کمتر از دمای پایه

متوقف می‌شود (شفیع و پرایس^۵، ۲۰۰۱). کاهش سرعت جوانه‌زنی با کاهش دما تا حدی مرتبط با کاهش سرعت آبنوشی بذر در دماهای پایین است (بیولی و بلک^۶، ۱۹۹۴). دماهای بالاتر از دمای مطلوب علاوه بر اثرگذاری بر سرعت جوانه‌زنی سبب زوال بذر شده و از این طریق کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی را بر اثر تخریب ساختارهای بذری به‌همراه دارد (هاردگری^۷، ۲۰۰۶). به‌طور کلی دما به‌دلیل اثر گذاری بر خفتگی، سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد گیاهچه، درصد نهایی جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (برادفورد، ۲۰۰۲).

پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه می‌تواند راهبرد مناسبی برای مدیریت کشت آنها فراهم سازد (کامکار^۸ و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات اخیر مشخص کرده‌اند که جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه و استقرار گونه‌های مختلف می‌توانند با استفاده از روش‌های مدل‌سازی پیش‌بینی شوند (کولباخ^۹ و همکاران، ۲۰۰۵). توانایی پیش‌بینی سبز شدن می‌تواند در تعیین زمان مطلوب عملیات کشت و کنترل علف‌های هرز گیاهان مختلف مؤثر باشد (اشراقی‌نژاد^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹؛ حیدری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۴؛ بوهرلر^{۱۲}، ۲۰۰۰)، بنابراین انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی نسبت به دما دارای اهمیت است.

جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها گیاهان در مقابل دما از مدل‌های رگرسیون غیر خطی استفاده شده است (هاردگری، ۲۰۰۶؛ سلطانی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۶؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۶). امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم زیستی هستند، مانند دماهای کاردینال و سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین برخی از محققین از این مدل‌ها برای به‌دست آوردن دماهای کاردینال یعنی دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف استفاده کرده‌اند (کامکار و همکاران،

⁵ Shafii and Price⁶ Bewley and Black⁷ Hardegree⁸ Kamkar⁹ Colbach¹⁰ Eshraghi Nejad¹¹ Heidari¹² Buhler¹³ Soltani¹ Ansari² Chen and Arora³ Ashraf and Foolad⁴ Bradford

نمود، بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تیمار پرایمینگ بر جوانه‌زنی و دماهای کاردینال بذر کلزا به‌اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه پژوهش‌های بذر دانشگاه بیرجند روی کلزا رقم ظفر تهیه شده از سازمان جهاد کشاورزی (توزیع شده در بین کشاورزان جهت کشت و در طبقه بذری گواهی شده) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس و تیمارهای پرایمینگ بذر شامل تیمار بدون پرایمینگ بذر (شاهد)، پرایمینگ با آب مقطر، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای مدت زمان ۱۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بود (قابل ذکر است جوانه‌زنی در دمای ۴۵ درجه سلسیوس متوقف شد). پس از آماده‌سازی بذرها، بذرها بدون پرایمینگ و پرایمینگ شده در ۴ تکرار ۵۰ بذری در دماهای موردنظر قرار گرفتند. شمارش و ثبت بذرها جوانه‌زده تا ثابت شدن جوانه‌زنی ادامه یافت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶).

برای توجیه روند تغییرات مربوط به درصد جوانه‌زنی در مقابل دما از تابع لجستیک (رابطه ۱) استفاده شد (کامکار و همکاران، ۲۰۱۱):

$$Y = G_{\max} / (1 + \exp(a(t/b))) \quad \text{رابطه ۱}$$

G_{\max} ؛ حداکثر درصد جوانه‌زنی، b ؛ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و a ؛ ضریب رابطه است. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از معکوس کردن زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی برحسب جمعیت با استفاده از درون‌یابی در هر دما و تیمار پرایمینگ بذر به‌دست آمد. از آنجایی که زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی محاسبه شده توسط تابع‌های سیگموئیدی بر اساس جوانه‌زنی نهایی می‌باشد؛ استفاده از این پارامتر جهت محاسبه سرعت جوانه‌زنی صحیح نیست، بنابراین با استفاده از ضرایب به‌دست آمده کاهش یافت جوانه‌زنی رسیدن به ۵۰

۲۰۱۱؛ درخشان^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ پرمون^۲ و همکاران، همکاران، ۲۰۱۵). پرکاربردترین مدل‌ها جهت کمی‌سازی پاسخ سرعت جوانه‌زنی به دما شامل مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا می‌باشند. به‌عنوان مثال لک زائی^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای روی ارقام مختلف کلزا نشان دادند که استفاده از مدل دو تکه‌ای پیش‌بینی مناسب‌تری از دماهای کاردینال بذر کلزا داشت و بین ارقام مختلف از نظر دماهای کاردینال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و دمای پایه، مطلوب و سقف توسط مدل برتر به ترتیب ۳/۲، ۲۶/۸ و ۴۰ درجه سلسیوس بود. در مطالعه‌ای دیگر روی کلزا خلج^۴ و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که مدل دو تکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است.

اکرم قادری^۵ و همکاران (۲۰۰۸) اثر پرایمینگ بر واکنش جوانه‌زنی به دما در پنبه را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان نشان داد پرایمینگ سبب تغییر شکل منحنی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذرها پنبه به دما و تغییر دماهای کاردینال بذرها پنبه گردید. به‌طوری که توانست دمای پایه جوانه‌زنی را حدود ۱ درجه سلسیوس کاهش دهد. همچنین محدوده تحمل به دماهای بالا را نیز افزایش داد. کرمی^۶ (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیر خطی پاسخ جوانه‌زنی بذر ذرت به دما و پرایمینگ کمی‌سازی نمودند و بیان داشتند که بهترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال ذرت مدل دو تکه‌ای بود. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از مدل‌های بتا، دو تکه‌ای و دندان مانند برای مدل‌سازی سبز شدن گیاه نخود در دماها و عمق‌های مختلف استفاده کردند و مدل دندان مانند را به‌عنوان مدل برتر معرفی کردند.

کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. سومین گیاه روغنی مهم دنیاست که سطح کشت آن در مناطق معتدل به سرعت در حال افزایش می‌باشد. با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیر خطی می‌توان پاسخ جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف به دما و پرایمینگ را کمی‌سازی

¹ Derakhshan

² Parmoon

³ Lakzaei

⁴ Khalaj

⁵ Akramghaderi

⁶ Karami

درصد جوانه‌زنی جمعیت محاسبه و سرعت جوانه‌زنی بر این اساس برآورد شد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۱. معادلات مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتای برازش داده شده به سرعت 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، f_0 و a ضریب ثابت و T دما (دمای مورد آزمایش) می‌باشد.

Table 1. Segmented, dent-like and beta models that were fitted to germination rate data for determining cardinal temperatures. T_b , T_o , T_m , T_{o1} , T_{o2} , and f_0 are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, and minimum time to reach a given percentile

معادله Function	فرمول Formula
دندان مانند (۲) (پیپر ^۱ ۱۹۹۶)	$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b)$ if $T_b < T \leq T_{o1}$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2})$ 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 $T \geq T_c$
دو تکه‌ای (۳) (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶)	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b)$ if $T_b < T \leq T_o$ $f(T) = [1 - (T - T_o) / (T_c - T_o)]$ if $T_o < T \leq T_c$ $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
بتا (۴) (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸)	$f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_o)) * ((T - T_b) / (T_o - T_b))^{(T_o - T_b) / (T_c - T_o)}$

جدول ۲. ضرایب به‌دست آمده از مدل لجستیک ۳ پارامتره برازش داده شده به درصد جوانه‌زنی تجمعی در دماهای مختلف و تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر برای بذر کلزا. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد است.

Table 2. Estimated parameters by fitting logistic 3 parameters model to cumulative germination percentage of *Brassica napus* L. at different temperatures for different priming treatments. Numbers in parentheses represent standard error.

دما (°C) Temperature (°C)	پرایمینگ بذر Priming	ضرایب مدل Parameters of model			
		a (G_{max})	b	X_{50} (hr)	R^2
5	بدون پرایم (Non-primed)	78.26(1.56)	-6.32(0.32)	157.91(2.58)	0.94
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	84.9(1.54)	-5.54(0.44)	166.4(5.58)	0.97
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	88.57(1.37)	-4.34(0.23)	169.62(5.25)	0.90
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	88.67(1.23)	-4.76(0.22)	168.37(3.39)	0.93
10	بدون پرایم (Non-primed)	88.12(1.99)	-4.99(0.11)	83.22(1.08)	0.92
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	92.33(1.43)	-4.87(0.43)	58.27(0.98)	0.90
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	96.33(1.13)	-4.91(0.55)	48.98(1.04)	0.96
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	94.44(1.27)	-4.35(0.75)	52.91(1.43)	0.99

¹ Piper

Table 2. Continue

دما (°C) Temperature (°C)	پرایمینگ بذر Priming	ضرایب مدل Parameters of model			
		a (G _{max})	b	X_{50} (hr)	R^2
15	بدون پرایم (Non-primed)	90.13(0.76)	-6.55(0.32)	58.55(1.38)	0.99
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	94.92(1.1)	-4.33(0.54)	34.87(1.64)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	94.66(1.12)	-3.43(0.32)	20.77(0.76)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	94.59(0.71)	-4.23(0.22)	30.56(0.34)	0.99
20	بدون پرایم (Non-primed)	96.21(1.34)	-2.87(0.24)	28.18(0.76)	0.98
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	96.03(1.23)	-2.76(22)	20.13(0.56)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	96.14(0.21)	-2.01(0.32)	19.29(0.87)	0.90
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	96.53(0.22)	-2.11(0.22)	20.86(0.23)	0.99
25	بدون پرایم (Non-primed)	90.76(1.89)	-2.83(0.23)	40.32(0.32)	0.99
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	92.56(0.32)	-2.56(0.34)	22.22(0.44)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	94.67(1.43)	-2.03(0.22)	19.23(0.56)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	94.54(0.23)	-2.33(0.11)	21.43(0.76)	0.99
30	بدون پرایم (Non-primed)	87.53(1.78)	-2.43(0.32)	50.66(1.54)	0.99
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	90.16(0.54)	-2.32(0.32)	30.65(0.23)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	94.37(1.55)	-2.12(0.44)	22.77(0.22)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	90.83(0.34)	-2.32(0.32)	29.76(0.11)	0.99
35	بدون پرایم (Non-primed)	68.83(1.56)	-2.93(0.12)	56.32(1.12)	0.99
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	76.27(1.76)	-2.7(0.25)	52.22(0.87)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	80.95(1.43)	-2.55(0.33)	47.32(1.22)	0.99
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	78.53(1.98)	-2.49(0.23)	50.34(1.53)	0.99
40	بدون پرایم (Non-primed)	-	-	-	-
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	-	-	-	-
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 50 mg/l GA)	-	-	-	-
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Priming with 100 mg/l GA)	-	-	-	-

a حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی، X_{50} زمان تا حداکثر ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b شیب منحنی where a is the maximum cumulative seed germination percentage, X_{50} is the time to 50% maximum seed germination, and b is the slope of the curve or lag phase

برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال از مدل‌های دو تکه‌ای (رابطه ۲)، دندان مانند (رابطه ۳) و بتا (رابطه ۴) استفاده شد (جدول ۱). تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک نرم‌افزار سیگماپلات صورت گرفت. 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 گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آمد. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس اشتباه آزمایشی کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف^۱ کمتر رگرسیون و با استفاده از میزان اریبی خط رگرسیون داده‌های شبیه‌سازی شده از خط یک به یک مشخص شد. در نهایت جهت مقایسه ضرایب به دست آمده توسط مدل‌های استفاده شده در این پژوهش از خطای استاندارد محاسبه شده توسط مدل استفاده شد.

نتایج و بحث

با استفاده از برازش مدل لجستیک ۳ پارامتره به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی، حداکثر درصد جوانه‌زنی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی و شیب معادله برای دماهای مختلف و تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر محاسبه شد (جدول ۲). میزان $Adj R^2$ مدل لجستیک استفاده شده برای تمامی دماها و تیمارهای پرایمینگ بذر بالاتر از ۰/۹۰ بود. نتایج نشان داد که در تمامی دماها، استفاده از پرایمینگ بذر، سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی شد، ولی افزایش درصد جوانه‌زنی در دماهای پایین بیشتر بود (جدول ۲)، همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما تا دمای ۲۰ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی افزایش یافت و بعد از آن کاهش یافت (جدول ۲). نتایج مربوط به زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی نشان داد که زمان رسیدن به ۵۰ درصد نهایی جوانه‌زنی با افزایش دما همچنین استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر، مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد نهایی جوانه‌زنی را

کاهش داد که نشان دهنده بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی در بذره‌ای پیش‌تیمار شده بود، بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در تمامی دماها مربوط به تیمار پرایمینگ بذر با اسید جیبرلیک ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود ولی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تفاوتی بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد که بیانگر بی اثر بودن تیمار پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی در دماهای مطلوب جوانه‌زنی بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای روی لاین‌های مختلف کلزا شایان‌فر^۲ و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که بیشتر لاین‌هایی که در ایران کشت می‌شوند دارای کمون ثانویه متوسطی می‌باشند و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس کمون ثانویه به بذرها القا می‌شود، ازینرو افزایش جوانه‌زنی در استفاده از تیمارهای اسید جیبرلیک ممکن است به دلیل اثر گذاری بر خواب ثانویه بوده باشد.

نتایج به‌خوبی نشان داد که بذر کلزا تحت دامنه وسیعی از دماها قادر به جوانه‌زنی می‌باشد، اما نسبت به دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس حساس می‌باشد و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی متوقف شد. لک زائی و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای روی ارقام مختلف کلزا نشان دادند که با افزایش دما تا دمای ۲۵ الی ۳۰ درجه سلسیوس بسته به رقم سرعت جوانه‌زنی بذر کلزا افزایش یافت و بعد از آن کاهش یافت و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس متوقف شد و بیان داشتند که استفاده از مدل دوتکه‌ای پیش‌بینی مناسب‌تری از دماهای کاردینال بذر کلزا داشت و بین ارقام مختلف از نظر دماهای کاردینال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و دمای پایه، مطلوب و سقف توسط مدل برتر به ترتیب ۳/۲، ۲۶/۸ و ۴۰ درجه سلسیوس بود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در مطالعه‌ای دیگر روی کلزا خلج و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که با افزایش دما تا ۲۵ درجه سلسیوس سرعت جوانه‌زنی بذر کلزا افزایش یافت و بعد از آن کاهش یافت و در مقایسه مدل‌های مختلف استفاده شده مدل دوتکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. در بسیاری از گونه‌های گیاهی دیگر نظیر *Polypogon fugax* (وو^۳ و

^۲ Shayanfar

^۳ Wu

^۱ RMSE

سیگموتیدی ۳ پارامتره جهت برآورد D_{50} استفاده نمودند. دومر^۶ و همکاران (۱۹۹۰) و درخشان و همکاران (۲۰۱۳) از مدل ویبول برای محاسبه D_{50} و در نهایت سرعت جوانه‌زنی استفاده نمودند. در مطالعه‌ای روی گیاه دارویی پنیرک، انصاری و همکاران (۲۰۱۶) بیان داشتند که جهت برآورد سرعت جوانه‌زنی بعد از برازش مدل‌های سیگموتیدی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی و برآورد ضرایب مدل باید با استفاده از درون‌یابی زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت برآورد شود و سرعت جوانه‌زنی بر حسب جمعیت و برای تیمارها و دماهایی که درصد جوانه‌زنی بالاتر از ۵۰ درصد دارند تخمین زده شود که در این آزمایش درصد جوانه‌زنی در تمامی دماها و تیمارهای استفاده شده بالاتر از ۵۰ درصد بود (جدول ۲).

بعد از برآورد سرعت جوانه‌زنی، به داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی برای تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر، مدل‌های رگرسیون غیرخطی؛ دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا برازش داده شد (شکل ۱). در نهایت دمای پایه، مطلوب و دمای سقف با استفاده از این مدل‌ها و برای تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر برآورد شدند (جدول ۳).

نتایج نشان داد که دمای پایه برآورد شده با استفاده از مدل دوتکه‌ای برای بذر بدون پرایمینگ، پرایمینگ با آب، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۳/۵۴، ۲/۵۷، ۲/۳۴ و ۲/۳۴ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب ۳/۳۴، ۲/۴۵، ۲/۲۱ و ۲/۸۳ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا ۴/۶۷، ۵، ۴/۹۷ و ۴/۹۵ درجه سلسیوس بود (جدول ۳).

دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای به ترتیب ۲۴/۶۲، ۲۳/۲۳، ۲۳/۶۹ و ۲۴/۳۸ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا ۲۷/۱۸، ۲۷/۶۶، ۲۷/۸۷ و ۲۷/۱۱ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۰/۰۱ و ۱۹/۶۲، ۱۶/۲۵ و ۱۹/۸۷، ۲۸/۸۱ و ۲۷/۳۸ و ۲۹/۵۸ و ۲۷/۳۱ درجه سلسیوس، دمای سقف با استفاده از مدل دو تکه‌ای ۴۰/۰۷، ۴۰/۵۲، ۴۰/۴ و ۴۰/۵۶، با استفاده از مدل

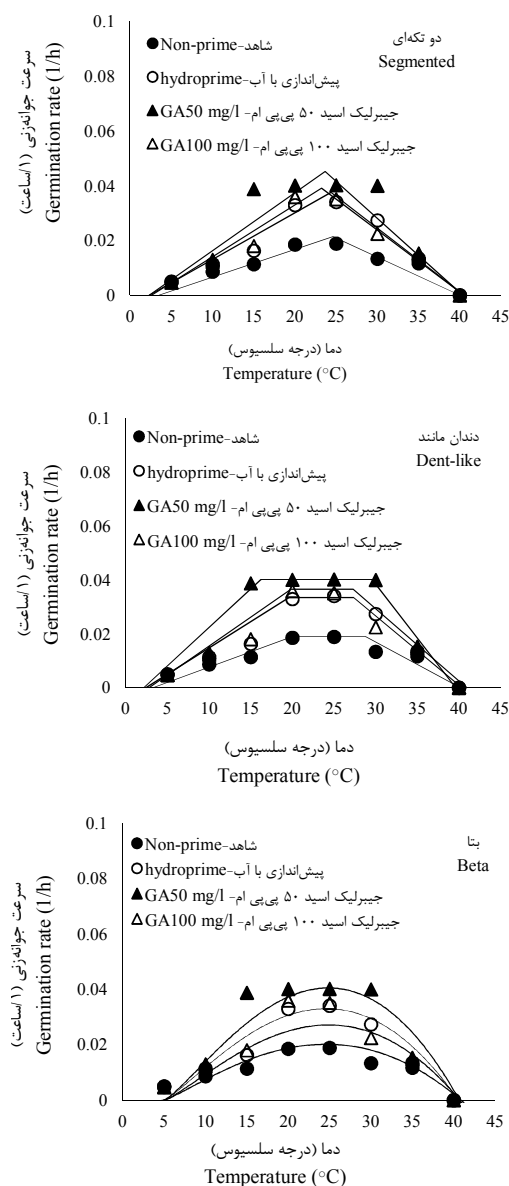
همکاران، ۲۰۱۵) و *S. rostratum* (ویو^۱ و همکاران، ۲۰۰۹) گزارش شده است که برای جوانه‌زنی به حد آستانه دمایی نیاز دارند و در دامنه محدودی از دماها قادر به جوانه‌زنی هستند، این درحالی است که جوانه‌زنی گونه‌هایی شبیه *Malva sylvestris* (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶)، *Gomphrena perennis* (آکوستا^۲ و همکاران، ۲۰۱۴) و *Urena lobata* (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۹) در دامنه وسیعی از دماها اتفاق می‌افتد.

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که استفاده از تیمارهای پرایمینگ بذر قادر به بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر کلزا تحت شرایط دماهای مختلف می‌باشد، اما به طور کلی اثر تیمار پرایمینگ بذر کلزا در دماهای پایین‌تر و بالاتر از دمای مطلوب بیشتر بود (جدول ۲). به طور کلی گزارش‌های مختلف حاکی از اثرات مثبت پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی می‌باشد، پاتاده^۴ و همکاران (۲۰۱۱)، بیان داشتند که استفاده از تیمارهای مختلف پرایمینگ سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی فلفل تحت شرایط تنش سرما می‌شود. مشابه نتایج به دست آمده برای بذر کلزا، برای دیگر گونه‌های گیاهی نیز اثر مثبت تیمارهای پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی در دماهای مختلف گزارش شده است (انصاری و همکاران، ۲۰۱۳؛ کرمی و همکاران، ۲۰۱۶؛ قادری‌فر^۵ و همکاران، ۲۰۰۹).

برای تعیین دماهای کاردینال در ابتدا نیاز به برآورد سرعت جوانه‌زنی می‌باشد که برای دماها و تیمارهای مختلف زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت با استفاده از مدل لجستیک ۳ پارامتره برآورد شد. در این راستا کامکار و همکاران (۲۰۱۱) و انصاری و همکاران (۲۰۱۵) برای برآورد D_{50} از مدل لجستیک استفاده کردند. علاوه بر مدل لجستیکی از سایر مدل‌های سیگموتیدی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به زمان جهت برآورد زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و محاسبه سرعت جوانه‌زنی نیز استفاده شده است. شفیع و پرایس (۲۰۰۱) و انصاری و همکاران (۲۰۱۶) از مدل

¹ Wei² Acosta³ Wang⁴ Patade⁵ Ghaderifar⁶ Dumur

برآورد شد که با توجه به گونه گیاهی بهترین مدل برای هر گونه گیاهی متفاوت بود.



شکل ۱. سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر کلزا با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و تیمارهای پرایمینگ برای بذر کلزا

Fig. 1. Predicted (lines) and observed (symbols) germination rate of *Brassica napus* L. seeds at different temperatures for different priming treatments using segmented, dent-like and beta models

دندان مانند ۴۰/۱۷، ۴۰/۳۵، ۳۹/۶۱ و ۴۰/۹۱ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا ۴۰/۹۷، ۴۰/۷، ۴۰/۶۹، ۴۰/۶۸ درجه سلسیوس، تعداد ساعات زیستی با استفاده از مدل دو تکه‌ای ۴۶/۷۸، ۲۵/۶۲، ۲۲/۱۴ و ۲۶/۶۲ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند ۵۲/۹۲، ۲۹/۸۲، ۲۴/۹۳ و ۲۷/۳۶ ساعت و با استفاده از مدل بتا ۵۰/۰۷، ۳۷/۰۹، ۳۱/۴۸ و ۳۶/۴۴ ساعت برآورد شد.

جهت بررسی دقت مدل‌های استفاده شده و تعیین مناسب‌ترین مدل از نمودار خط ۱:۱ سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در مقابل سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد. با استفاده از نمودار خط ۱:۱ مقادیر CV ، $RMSE$ و ضرایب رگرسیون a و b برای تمامی تیمارهای پرایمینگ استفاده شده به‌صورت جداگانه محاسبه شدند که $RMSE$ و CV پائین و R^2 بالا نشان دهنده دقت بالاتر در مدل بود (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده مناسب‌ترین مدل برای تیمار بدون پرایمینگ مدل دوتکه‌ای و برای تیمار پرایمینگ بذر با آب و اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مدل دوتکه‌ای و دندان مانند و برای تیمار جیبرلیک اسید ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مدل دندان مانند بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که استفاده از تیمارهای پرایمینگ

بذر سبب کم شدن دمای پایه بذر کلزا شد، ولی بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به‌طور کلی دمای پایه را حدود ۱ درجه سلسیوس کاهش داد و تأثیری بر دمای سقف نداشتند (جدول ۳). دما به واسطه تأثیر بر کمون بذر می‌تواند سرعت‌های جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را تحت تأثیر قرار دهد (بردفورد، ۲۰۰۲). فورسلا^۱ و همکاران (۲۰۰۰) عنوان کرد زمان جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین رخدادهایی است که موفقیت یا شکست گونه‌های یک‌ساله در آلوده‌کردن و افزایش جمعیت آن‌ها در بوم نظام‌های کشاورزی را تعیین می‌کند. در آزمایشی که توسط قادری‌فر و همکاران (۲۰۰۹) 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

¹ Forcella

جدول ۳. برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{ol})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_r)، تعداد ساعات زیستی (f_o)، عرض از مبدا (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیر خطی برای بذر کلزا. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد. ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده بذر بدون پرایمینگ، پرایمینگ با آب، اسید جیبرلیک ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد.

Table 3. Estimated parameters for the non-linear regression models for *Brassica napus* L. seeds. T_b , T_o , T_{ol} , T_{o2} , f_o , a and b are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum time to reach a given percentile, coefficient of regression, intercept and slope of linear regression between predicted against observed germination rate, respectively. Numbers in parentheses represent standard error of the mean. 1, 2, 3 and 4 represent non-priming, priming with water, gibberellin 50 and 100 mg/l, respectively

مدل	دو تکمای				دندان مانند				پنا			
Model	Segmented				Dent-like				Beta			
ضرایب (Parameters)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
t_b	3.54 (2.48)	2.57 (2.13)	2.34 (1.68)	2.34 (2.48)	3.34 (1.95)	2.45 (2.46)	2.21 (2.31)	2.83 (2.08)	4.67 (4.08)	5 (4.43)	4.97 (4.41)	4.95 (4.42)
t_o	24.62 (1.91)	23.23 (1.54)	23.69 (1.32)	24.38 (1.91)	-	-	-	-	27.18 (4.84)	27.66 (5.34)	27.87 (5.35)	27.11 (5.37)
t_{ol}	-	-	-	-	20.01 (6.09)	19.62 (5.51)	16.25 (3.78)	19.87 (3.44)	-	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	-	28.81 (5.63)	27.38 (4.36)	29.58 (3.09)	27.31 (2.55)	-	-	-	-
t_m	40.07 (1.68)	40.52 (1.76)	40.40 (1.06)	40.56 (1.68)	40.17 (1.97)	40.35 (2.02)	39.61 (1.73)	40.91 (1.46)	40.97 (2.04)	40.7 (2.29)	40.69 (2.29)	40.68 (2.3)
f_o	46.78 (1.53)	25.62 (1.79)	22.14 (1.73)	26.62 (1.53)	52.92 (9.38)	29.89 (6.38)	24.93 (2.73)	27.36 (2.22)	50.07 (8.02)	37.09 (6.57)	31.48 (5.18)	36.44 (4.86)
a	0.0001 (2)	0.0000 (3)	0.000 (2)	0.0000 (1)	0.0000 (4)	0.0003 (0.99)	0.0003 (0.99)	0.0000 (2)	0.0007 (0.99)	0.0007 (0.99)	0.00004 (0.99)	0.0000 (0.99)
b	0.99**	0.98**	0.97*	0.99**	0.96**	0.99**	0.99*	0.98**	0.99**	0.99**	0.99*	0.99**
R^2 Adj	0.93	0.86	0.84	0.87	0.88	0.92	0.90	0.95	0.82	0.78	0.84	0.82
RMSE	0.0005	0.0005	0.009	0.008	0.001	0.0004	0.002	0.007	0.001	0.002	0.008	0.009
CV%	4.45	8.65	12.11	12.54	8.89	7.06	4.01	11.01	19.76	20.76	21.56	18.16

همچنین سایر محققین با استفاده از مدل های رگرسیونی غیرخطی دماهای کاردینال برای تعدادی دیگر از گیاهان را محاسبه کردند و برای مقایسه مدل ها از CV ، $RMSE$ و شاخص آکائیک ($AICc$) استفاده کردند (درخشان و همکاران، ۲۰۱۳؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱). اکرم قادری و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه اثر پرایمینگ بر واکنش جوانه زنی به دما در پنبه نشان داد پرایمینگ سبب تغییر شکل منحنی واکنش سرعت جوانه زنی بذرهایی پنبه به دما گردید. به طوری که واکنش سرعت جوانه زنی بذرهایی شاهد به دما از تابع دوتکه ای و واکنش بذرهایی پرایمینگ شده از تابع دندان مانند پیروی کرد. همچنین نشان داد که پرایمینگ سبب تغییر دماهای کاردینال بذرهایی پنبه گردید، به طوری که توانست دمای پایه جوانه زنی را حدود ۱ درجه سلسیوس کاهش دهد. همچنین محدوده تحمل به دماهای بالا را نیز افزایش داد. کرمی (۲۰۱۶) با استفاده از مدل های رگرسیونی غیرخطی پاسخ جوانه زنی بذر ذرت به دما و پرایمینگ را کمی سازی نمودند و بیان داشتند، مناسب ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال ذرت، مدل دوتکه ای بود. همچنین ایشان بیان داشت که استفاده از تیمار پرایمینگ دمای پایه ذرت را کاهش داد.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که دماهای کاردینال بذر کلزا تحت تاثیر تیمار پرایمینگ بذر قرار گرفته، اما تاثیر پرایمینگ بر دمای مطلوب بیشتر بوده به طوری که در بذرهایی پرایمینگ شده شکل منحنی نسبت به بذر بدون پرایمینگ تغییر کرد و از حالت دوتکه ای به دندان مانند تغییر یافت که نشان دهنده بازه دمایی بیشتر برای حداکثر سرعت جوانه زنی این گیاه می باشد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با افزایش دما تا حد مطلوب سرعت جوانه زنی به طور معنی داری افزایش یافت و بعد از آن کاهش یافت. دمای پایه برآورد شده توسط هر ۳ مدل در سطوح مختلف پرایمینگ بذر تفاوت معنی داری را نشان ندادند. بازه دمایی مطلوب در بذرهایی پرایمینگ شده بیشتر بود و تعداد ساعات زیستی (حداقل زمان لازم برای جوانه زنی در دمای مطلوب) در بذرهایی پرایمینگ شده کاهش یافت که نشان دهنده بیشتر بودن سرعت جوانه زنی در این تیمارها می باشد. نتایج نشان داد که دمای پایه برآورد شده با استفاده از مدل دوتکه ای برای بذر بدون پرایمینگ، پرایمینگ با آب، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب ۳/۵۴، ۲/۵۷، ۲/۳۴ و ۲/۳۴ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب ۳/۳۴، ۲/۴۵، ۲/۲۱ و ۲/۸۳ درجه سلسیوس بود. دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه ای به ترتیب ۲۴/۶۲، ۲۳/۲۳، ۲۳/۶۹ و ۲۴/۳۸ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا ۲۷/۱۸، ۲۷/۶۶، ۲۷/۸۷ و ۲۷/۱۱ درجه سلسیوس، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۰/۰۱ و ۱۹/۶۲، ۱۶/۲۵ و ۱۹/۸۷، ۲۸/۸۱ و ۲۷/۳۸ و ۲۹/۵۸ و ۲۷/۳۱ درجه سلسیوس، دمای سقف با استفاده از مدل دو تکه ای ۴۰/۰۷، ۴۰/۵۲، ۴۰/۴ و ۴۰/۵۶ و با استفاده از مدل دندان مانند ۴۰/۱۷، ۴۰/۳۵، ۳۹/۶۱ و ۴۰/۹۱ درجه سلسیوس برآورد شد. در مقایسه ۳ مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای CV ، $RMSE$ و se و نمودار خط ۱:۱ مناسب ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال کلزا برای تیمار بدون پرایمینگ مدل دوتکه ای و برای تیمار پیش انداز شده با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و آب مدل دوتکه ای و دندان مانند و برای تیمار پیش انداز شده با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم در لیتر مدل دندان مانند بود؛ بنابراین از مدل دندان مانند و دوتکه ای می توان در تهیه و ارزیابی مدل های پیش بینی جوانه زنی بذر کلزا استفاده کرد.

منابع

- Acosta, J.M., Bentivegna, D.J., Panigo, E.S. and Dellaferrera, I. 2014. Influence of environmental factors on seed germination and emergence of *Iresine diffusa*. Weed Research, 54(6): 584-592. <https://doi.org/10.1111/wre.12114>

- Akramghaderi, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperature of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *pepo*. Convar. *pepo* var. *styriaca* Greb), borage (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Asian Journal of Plant Science, 2: 101-119. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.574.578>
- Ansari, O. and Sharif-Zadeh, F. 2012. Does gibberellic acid (GA), salicylic acid (SA) and ascorbic acid (ASc) improve Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds germination and seedlings growth under cold stress?. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3(8): 1651-1657.
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B. and Ghaderi-Far, F. 2016. Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. Seed Science and Technology, 44(3): 1-14. <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.3.05>
- Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2005. Pre-sowing seed treatment- a shotgun approach to improve germination growth and crop yield under saline and none-saline condition. Advances in Agronomy, 88: 223-271. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88006-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88006-X)
- Bewley, J.D. and Black, M. 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination, 2nd ed. Plenum Press, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8>
- Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50: 248-260. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0248:AOHTQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTQ]2.0.CO;2)
- Buhler, D.D. 2000. Theoretical and practice challenges to an IPM approach to weed management. Weed Science, 48(3): 274-280. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0274:TAPCTA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0274:TAPCTA]2.0.CO;2)
- Chen, K. and Arora, R. 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. Environmental and Experimental Botany, 94: 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.005>
- Colbach, N., Du`rr, C., Roger-Estrade, J. and Caneill, J. 2005. How to model the effects of farming practices on weed emergence. Weed Research, 45(1): 2-17. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00428.x>
- 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. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00055.1>
- Dumur, D., Pilbeam, C.J. and Craigon, J. 1990. Use of the Weibull function to calculate cardinal temperatures in *Faba bean*. Journal of Experimental Botany, 41(11): 1423-1430. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.11.1423>
- Eshraghi Nejad, M., Kamkar, B. and Soltani, A. 2009. Cardinal temperatures and required biological days from sowing to emergence of three millet species (common, foxtail, pearl millet). Journal of Agricultural Science and Technology, 12(3): 36-43.
- Forcella, F., Benech Arnold, R.L. and Sanchez, R. 2000. Modelling seedling emergence. Field Crops Research, 67(2): 123-139. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00088-5)
- Ghaderi-Far, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. *pepo*. Convar. *pepo* var. *styriaca* Greb), borage (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. Journal of Plant Production, 16(4): 1-9. [In Persian with English Summary].
- Hardegree, S. P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. Annals of Botany, 97(6): 1115-1125. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl071>

- Heidari, Z., Kamkar, B. and Masoud Sinaki, J. 2014. Determination of cardinal temperatures of milk thistle (*Silybum marianum* L.) germination. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 1(5): 28. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00027>
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A. and Villalobos, F.J. 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Karami, H. 2016. An alternative model to quantifying corn seed germination to temperature and water potential. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of M.Sc. in Agronomy. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian with English Summary].
- Khalaj, H., Allahdadi, I., Irannejad, Gholamabbas, Minbashi, M. and Baghestani, M.A. 2012. Using nonlinear regression approach for prediction of cardinal temperature of canola and four common weed. *Journal of Agronomy*, 2(1): 21-33.
- Lakzaei, S., Soltani, A., Zeinali, E., Ghaderifar, F. and Jafanodeh, S. 2018. Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(3): 195-207. [In Persian with English Summary].
- Parmoon, G., Moosavi, S.A., Akbari, H. and Ebadi, A. 2015. Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop Journal*, 3(2): 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.11.003>
- Patade, V.Y., Maya, K. and Zakwan, A. 2011. Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *Research Journal of Seed Science*, 4(3): 125-136. <https://doi.org/10.3923/rjss.2011.125.136>
- 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: 1606-1614. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x>
- Shaffi, B., Price, W.J., 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 6: 356-366. <https://doi.org/10.1198/108571101317096569>
- Shayanfar, A., Ghaderi-Far, F., Behmaram, R., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2017. Assessment of germination and secondary dormancy behaviors of lines and cultivars of canola. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crop Production)*, 19(4): 881-892.
- Soltani, A., Gholipour, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 55: 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012>
- Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B. and Akramghaderi, F. 2008. Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology*, 2(1): 32-36.
- Wang, J., Ferrell, J., MacDonald, G. and Sellers, B. 2009. Factors affecting seed germination of Cadillo (*Urena lobata*). *Weed Science*, 57(1): 31-35. <https://doi.org/10.1614/WS-08-092.1>
- Wei, S., Zhang, C., Li, X., Cui, H., Huang, H., Sui, B., Meng, Q. and Zhang, H. 2009. Factors affecting Buffalobur (*Solanum rostratum*) seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, 57(5): 521-525. <https://doi.org/10.1614/WE-09-054.1>
- Wu, X., Li, J., Xu, H. and Dong, L. 2015. Factors affecting seed germination and seedling emergence of Asia Minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Science*, 63: 440-447. <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00093.1>

Research Article

Quantification of the Priming Effect of Canola (*Brassica napus* cv. Zafar) Response to Temperature Using Nonlinear Regression ModelsSepideh Nikoumaram¹, Naeimeh Bayatian², Omid Ansari^{3,*}**Extended Abstract**

Introduction: Temperature is one of the primary environmental regulators of seed germination. Seed priming technique has been known as a challenge to improving germination and seedling emergence under different environmental stresses. Quantification of germination response to temperature and priming is possible, using non-linear regression models. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of temperature and priming on germination and determination of cardinal temperatures (base, optimum and maximum) of *Brassica napus* L.

Material and Methods: Treatments included priming levels (non-priming, priming with water, gibberellin 50 and 100 mg/l) and temperature (5, 10, 15, 20, 30, 35 and 40 °C). Germination percentage and time to 50% maximum seed germination of *Brassica napus* L. were calculated for different temperatures and priming by fitting 3-parameter logistic functions to cumulative germination data. For the purpose of quantifying the response of germination rate to temperature, use was made of 3 nonlinear regression models (segmented, dent-like and beta). The root mean square of errors (RMSE), coefficient of determination (R^2), CV and SE for the relationship between the observed and the predicted germination percentage were used to compare the models and select the superior model from among the methods employed.

Results: The results indicated that temperature and priming were effective in both germination percentage and germination rate. In addition, the results showed that germination percentage and rate increase with increasing temperature to the optimum level and using priming. As for the comparison of the 3 models, according to the root mean square of errors (RMSE) of germination time, the coefficient of determination (R^2), CV and SE, the best model for the determination of cardinal temperatures of *Brassica napus* L. for non-primed seeds was the segmented model. For hydro-priming and hormone-priming with 50 mg/l GA, the best models were segmented and dent-like models and for hormone-priming with 100 mg/l GA, the dent-like model was the best. The results showed that for non-priming, hydropriming with water, gibberellin 50 and 100 mg/l treatments, the segmented model estimated base temperature as 3.54, 2.57, 2.34 and 2.34 °C and dent-model estimated base temperature as 3.34, 2.45, 2.21 and 2.83 °C, respectively. The segmented model estimated optimum temperature as 24.62, 23.23, 23.69 and 24.38 °C. The dent-model estimated lower limit of optimum temperature and upper limit of optimum temperature as 20.01, 19.62, 16.25, 19.87 and 28.81, 27.38, 29.58 and 27.31 °C.

Conclusion: Utilizing non-linear models (segmented, dent-like and beta) for quantification of germination of *Brassica napus* L. response to different temperatures and priming produced desirable results. Therefore, utilizing the output of these models at different temperatures can be useful in the prediction of germination rate in different treatments.

Keywords: *Brassica napus*, Cardinal temperatures, Germination, Non-linear regression models, Priming

Highlights:

- 1-The effect of priming on germination of *Brassica napus* was investigated.
- 2-The temperature range of rapeseed germination of *Brassica napus* changes with the use of seed priming.

¹ M.Sc. Graduated of Seed Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23831251.1398.6.2.12.4>

² M.Sc. Graduated of Seed Science and Technology, University of Birjand, Birjand, Iran

<http://dx.doi.org/10.29252/yujs.6.2.111>

³ Ph.D. Graduated of Seed Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran



CrossMark

*Corresponding author E-mail: omid0091@yahoo.com

(Received: 10.05.2019 ; Accepted: 25.08.2019)