Iranian Journal of Seed Research

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (Online); 2383-1251 (Print)

Investigation of the Effects of Temperature, Salinity, and Seed Priming on the Germination of Camelina (*Camelina sativa*) and Modeling the Germination Response to Temperature

Sharzad Ghabeli[1], Hamidreza Ebrahimi[2]✉, Hamidreza Miri[1], Barmak Jafari Haghighi[1], Abdolreza Jafari[1]

1. Department of Agronomy, Ars. C., Islamic Azad University, Arsenjan, Iran. Email: ghabeli.shahrzad@yahoo.com (SG); barmakjafarihaghighi@iauc.ir (BJH); hr.miri2000@iauc.ir (HM); abdolreza.jafari@iauc.ir (AJ)
2. Corresponding author, Department of Agronomy, Ars. C., Islamic Azad University, Arsenjan, Iran. Email: ha.ebrahimi@iauc.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 22 November 2025
Received:15 February 2026
Accepted: 23 February 2026

Keywords:

Brassinosteroid
Camelina
Cardinal temperatures
Germination speed
Gibberellic acid

ABSTRACT

Objective: The objective of this research was to evaluate the effect of temperature, salinity, and seed priming on germination and to determine cardinal germination temperatures (i.e., base, optimum, and maximum) of Camelina seeds.

Method: Experimental treatments included different levels of seed priming (control, hydropriming, priming with gibberellic acid, and brassinosteroid at 50 ppm), salinity (0, 100, and 200 mM), and different temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40°C). To estimate cardinal temperatures, three nonlinear regression models (dent-like, segmented, and beta) were fitted, and their accuracy was evaluated using RMSE, CV, R^2, and SE criteria.

Results: The results showed that Camelina seed germination was significantly affected by the interaction of temperature, salinity, and priming treatments, and none of these factors could be interpreted independently. The highest germination percentage and rate were obtained at 20°C under non-saline conditions, particularly with the application of gibberellic acid and brassinosteroid at 50 ppm; whereas the combination of high temperatures (especially 35°C) and 200 mM salinity caused a severe reduction or complete inhibition of germination. Hormonal priming, in addition to increasing germination percentage, reduced the time to 50% germination, thereby increasing germination rate, decreasing base temperature, and improving the thermal tolerance range. Among the three models evaluated, based on RMSE, CV, R^2, and SE criteria, the segmented and dent-like models were the most suitable for estimating the cardinal temperatures of Camelina. The results also showed that the most effective priming treatment was priming with brassinosteroid.

Conclusion: The use of priming, especially with brassinosteroid and gibberellic acid, can be recommended as an effective strategy to improve Camelina seed establishment under salinity stress and temperature fluctuations. The use of nonlinear regression models, including dent-like, segmented, and beta models, can be effectively used to quantify the response of Camelina seed germination to temperature, salinity, and seed priming. Therefore, by utilizing the output of these models across different temperatures, it is possible to predict the germination rate under various priming treatments and salinity levels.

Cite this article: Ghabeli, Sh., Ebrahimi, H., Miri, H. Jafari Haghighi, B., & Jafari, A. (2026). Investigation of the effects of temperature, salinity, and seed priming on germination of *Camelina sativa* and modeling of germination response to temperature. *Iranian Journal of Seed Research*, *12* (2), 223-247. https://doi.org/10.66224/yujs.12.2.223

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: 10.66224/yujs.12.2.223

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

Highlights:

- Assessing the combined effects of temperature, salinity, and priming on Camelina seed germination.
- Quantifying the impact of seed priming on cardinal temperatures of Camelina under salinity stress.
- Comparing and selecting the superior nonlinear model (dent-like and segmented) for estimating Camelina cardinal temperatures under salinity stress and priming.

Introduction

Camelina sativa (L.) is an emerging oilseed crop of significant agronomic value, particularly for dryland agriculture. Its high seed oil content and unique fatty acid profile position it as a critical resource for biofuels, biopolymers, and human nutrition (Popa et al., 2017). Despite its adaptability to low-input environments, the small seed size of Camelina (approx. 0.7 × 1.5 mm) renders seedling establishment—the most vulnerable stage of its life cycle—highly sensitive to environmental stresses such as salinity and thermal fluctuations (Na et al., 2018). As climate change increases the frequency of extreme weather events, understanding the factors governing germination in Camelina is not only a botanical necessity but also an agricultural imperative for stabilizing productivity in arid and semi-arid regions.

While previous research has established the individual effects of temperature and salinity on seed germination (Hosseini Sanehkoori et al., 2023), there remains a notable knowledge gap regarding the interactive effects of thermal stress, salt concentration, and seed priming agents (e.g., gibberellic acid and brassinosteroids) on the 'Soheil' cultivar. Most existing studies focus on single-factor stress; however, under field conditions, these stresses act concurrently. Furthermore, while the general behavior of Camelina is known, precise cardinal temperatures (base, optimum, and ceiling) under multifaceted stress conditions have yet to be fully elucidated.

The primary aim of this study was to quantify the interactive influence of temperature, salinity, and chemical priming on the germination parameters of *C. sativa* cv. 'Soheil'. This research adopts a post-positivist quantitative approach, utilizing non-linear regression modeling to explain germination responses. The rationale for this experimental design was to isolate variables in a controlled laboratory setting, allowing for the construction of predictive mathematical models that can assist in determining optimal sowing windows for agronomic success.

We hypothesized that: (1) Salinity would negatively correlate with germination rate and percentage; (2) Seed priming treatments would mitigate these adverse effects by shifting cardinal temperature thresholds; and (3) A mathematical modeling approach (specifically, segmented, dent-like, and beta models) would provide superior predictive precision compared to descriptive statistical methods.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

Method

This study was conducted as a quantitative laboratory experiment in 2021 at the Seed Research Laboratory of Ars. C., Islamic Azad University, Iran. A factorial experiment based on a completely randomized design was employed to evaluate the effects of temperature, salinity, and seed priming on the germination of *Camelina sativa* L. cv. 'Soheil'. Treatments included eight temperatures (5–40 °C), three salinity levels (0, 100, and 200 mM NaCl), and four priming treatments: control (untreated seeds), hydro-priming (distilled water), priming with gibberellic acid (50 ppm), and priming with brassinosteroid (50 ppm). For each treatment, four replicates of 50 seeds were used.

Germination was recorded at 24-hour intervals until no further germination was observed for three consecutive days, and seeds with a radicle protrusion of at least 1 mm were considered germinated. Final germination percentage (FGP), time to 50% germination (T_{50}), germination rate (GR), and cardinal temperatures (Tb, To, and Tc) were calculated. Four non-linear regression models (logistic, dent-like, segmented, and beta) were fitted using SigmaPlot 14.0, and model accuracy was evaluated based on RMSE and parameter standard errors.

As the study did not involve human or animal subjects, ethical approval was not required. The study was not mixed methods because only quantitative experimental data were collected.

Results

Analysis of variance (ANOVA) showed that the main effects of temperature, salinity, and seed priming on germination percentage were significant at the 1% probability level ($p < 0.01$). In addition, all two-way and three-way interactions among these factors were also significant, indicating that germination responses were strongly dependent on the combined effects of temperature, salinity, and priming treatments.

Germination percentage varied widely among treatment combinations, ranging from approximately 98% under optimal conditions to approximately 2% under the most unfavorable conditions. Increasing temperature up to 20°C significantly improved germination, whereas higher temperatures, particularly 30 and 35°C, resulted in a sharp decline in germination. No germination was observed at 40°C.

Salinity stress significantly reduced germination. Seeds germinated best under non-saline conditions, whereas moderate salinity (100 mM) caused a moderate reduction, and severe salinity (200 mM) caused a substantial decline in germination, particularly at higher temperatures.

Seed priming improved germination performance under most conditions. Priming with 50 ppm gibberellic acid and 50 ppm brassinosteroid generally resulted in higher germination percentages compared with the control and hydro-priming treatments, increasing germination percentage by approximately 10–20% in several treatment combinations. However, under high temperatures combined with severe salinity stress, priming treatments could not fully compensate for the reduction in germination.

Cumulative germination data were modeled using a three-parameter logistic function to estimate germination rate parameters. The results showed that germination rate increased with

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

temperature up to 20°C and decreased at higher temperatures. Seed priming reduced the time required to reach 50% germination (T_{50}) and increased germination rate, with brassinosteroid priming resulting in the shortest T_{50} in most temperature treatments.

Camelina seeds germinated across a relatively wide temperature range but were sensitive to temperatures above 30 °C. Under severe salinity (200 mM) and high temperature (35°C), germination was extremely low or completely inhibited.

Estimation of cardinal temperatures using dent-like, segmented, and beta models indicated that salinity increased the base temperature (Tb), whereas priming treatments reduced Tb under saline conditions. Salinity also decreased the ceiling temperature (Tc), while priming tended to increase Tc and expand the optimal temperature range (To) for germination.

Evaluation of model performance based on lower RMSE and CV values, higher R^2, and closer fit to the 1:1 regression line showed that the dent-like and segmented models provided the best fit for describing the germination response of Camelina seeds under the tested conditions.

Conclusions

The results demonstrated that germination rate increased significantly with rising temperature up to the optimal range, after which it declined. Under non-stress conditions, priming treatments had no significant effect on base temperature (Tb); however, as salinity stress intensified, Tb increased, and the application of priming treatments reduced this increase. Priming also expanded the optimal temperature range (To) for Camelina seeds compared with non-primed seeds and decreased the thermal time required for germination (i.e., biological hours), indicating a positive effect of priming treatments on germination rate.

Based on RMSE, CV, and the 1:1 regression line evaluation criteria, the segmented and dent-like models consistently outperformed the beta model and were identified as the most suitable for predicting germination responses and estimating Camelina cardinal temperatures (Tb, To, and Tc).

Finally, the results indicated that priming with 50 ppm brassinosteroid produced the most favorable outcomes and appeared to be the most effective treatment under salinity stress. Therefore, priming with 50 ppm brassinosteroid, in combination with dent-like and segmented modeling approaches, can be recommended for assessing and improving Camelina seed germination under saline conditions. These findings can assist in determining optimal sowing windows and developing effective priming strategies for Camelina cultivation in saline-affected regions. Future research should validate these findings under field conditions and explore the physiological mechanisms underlying the observed priming effects.

Author Contributions

Conceptualization, Sharzad Ghabeli and Hamidreza Ebrahimi; methodology, Sharzad Ghabeli and Hamidreza Ebrahimi; software, Sharzad Ghabeli; validation, Hamidreza Ebrahimi, Barmak Jafari Haghighi, Abdolreza Jafari and Hamidreza Miri; formal analysis, Sharzad Ghabeli; investigation, Sharzad Ghabeli; resources, Hamidreza Ebrahimi; data

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

curation, Sharzad Ghabeli; writing original draft preparation, Sharzad Ghabeli; writing review and editing, Hamidreza Ebrahimi, Barmak Jafari Haghighi, Abdolreza Jafari and Hamidreza Miri; visualization, Sharzad Ghabeli; supervision, Hamidreza Ebrahimi; project administration, Hamidreza Ebrahimi; funding acquisition, Hamidreza Ebrahimi. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Department of Agronomy, Ars. C., Islamic Azad University, Arsenjan, Iran, for providing research facilities and technical support throughout the course of this study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

پژوهش‌های بذر ایران

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (Online); 2383-1251 (Print)

بررسی اثر دما، شوری و پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی کاملینا (*Camelina sativa*) و مدل‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما

شهرزاد قابلی[1]، حمیدرضا ابراهیمی[2]✉، حمیدرضا میری[1]، برمک جعفری حقیقی[1] و عبدالرضا جعفری[1]

۱- گروه آگرونومی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: ghabeli.shahrzad@yahoo.com; barmakjafarihaghighi@iauc.ir; hr.miri2000@iauc.ir; abdolreza.jafari@iauc.ir

۲- نویسنده مسئول، گروه آگرونومی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران. رایانامه: ha.ebrahimi@iauc.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹

کلیدواژه‌ها:
اسید جیبرلیک
براسینواستروئید
دماهای کاردینال
سرعت جوانه‌زنی
کاملینا

چکیده

هدف: این پژوهش به‌منظور بررسی اثر دما، شوری و پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال (دمای پایه، مطلوب و بیشینه) جوانه‌زنی بذر کاملینا انجام گردید.

مواد و روش‌ها: تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف پرایمینگ بذر (بدون پرایم، پرایمینگ با آب، پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، شوری (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) بود. برای برآورد دماهای کاردینال، سه مدل رگرسیون غیرخطی دندان‌مانند، دوتکه‌ای و بتا برازش داده شد و دقت آن‌ها با معیارهای RMSE، CV، R^2 و SE ارزیابی گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بذر کاملینا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش همزمان دما، شوری و تیمارهای پرایمینگ قرار دارد و هیچ‌یک از این عوامل به‌صورت مستقل قابل تفسیر نیستند. بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و در شرایط بدون تنش شوری، به‌ویژه با کاربرد اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، حاصل شد؛ در حالی‌که ترکیب دماهای بالا (به‌ویژه ۳۵ درجه) و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار موجب کاهش شدید یا توقف جوانه‌زنی گردید. پرایمینگ هورمونی علاوه بر افزایش درصد جوانه‌زنی، با کاهش زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی شد و دمای پایه را کاهش و دامنه تحمل حرارتی را بهبود بخشید. در مقایسه سه مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای RMSE، CV، R2، SE مدل دوتکه‌ای و دندان مانند مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال بذر کاملینا بود. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین تیمار استفاده از پرایمینگ با براسینواستروئید بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از پرایمینگ، به‌ویژه براسینواستروئید و اسید جیبرلیک، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود استقرار بذر کاملینا در شرایط تنش شوری و نوسانات دمایی توصیه شود. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی از جمله دندان‌مانند، دوتکه‌ای و بتا می‌تواند به‌طور مؤثر برای کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کاملینا به دما، شوری و پرایمینگ بذر به کار رود؛ بنابراین با استفاده از خروجی این مدل‌ها در دماهای مختلف، می‌توان سرعت جوانه‌زنی را تحت تیمارهای مختلف پرایمینگ و سطوح شوری پیش‌بینی نمود.

جنبه‌های نوآوری:

- اثر دما، شوری و پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر کاملینا بررسی شد.
- اثر پرایمینگ بذر بر دماهای کاردینال بذر کاملینا تحت شرایط تنش شوری مطالعه گردید.
- مقایسه و انتخاب مدل غیرخطی برتر (دندان‌مانند و دوتکه‌ای) برای تخمین دماهای کاردینال کاملینا تحت تنش شوری و پرایمینگ انجام شد.

استناد: قابلی، شهرزاد؛ ابراهیمی، حمیدرضا؛ میری، حمیدرضا؛ جعفری حقیقی، برمک؛ و جعفری، عبدالرضا (۱۴۰۴). بررسی اثر دما، شوری و پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی کاملینا (*Camelina sativa*) و مدل‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۲)، ۲۴۷-۲۲۳. https://doi.org/10.66224/yujs.12.2.223

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

مقدمه

کاملینا (*Camelina sativa* L.) یک گیاه روغنی مهمی است که در سطح وسیعی از مناطق مختلف دنیا به خوبی گسترش یافته است (هینداوی[1] و همکاران، ۲۰۱۹). این گیاه بومی جنوب شرقی اروپا و جنوب غربی آسیا می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان یک محصول دانه روغنی در مناطق دیم مورد کشت و کار قرار بگیرد (پوپا[2] و همکاران، ۲۰۱۷). از روغن کاملینا به‌طور گسترده‌ای در تولید پلیمرهای زیستی، سوخت‌های زیستی و لوازم آرایشی و بهداشتی و همچنین به‌دلیل داشتن اسیدهای چرب منحصر به فرد می‌تواند به‌عنوان روغن خوراکی برای انسان و در خوراک دام نیز استفاده گردد (پوپا و همکاران، ۲۰۱۷؛ کلینسکا[3] و همکاران، ۲۰۱۹). از مزایای کشاورزی این گیاه می‌توان به کشت ساده، طول دوره رشد کوتاه و سازگاری بالا به شرایط نامساعد محیطی مانند کمبود آب، دما و مواد غذایی با بهره‌وری بالا اشاره کرد (ساها[4] و همکاران، ۲۰۲۲؛ سرو[5] و همکاران، ۲۰۱۷؛ میاشیتا و فوجیتا[6]، ۲۰۱۹؛ کرزیزانیاک[7] و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین کشت این گیاه در تناوب زراعی با سایر محصولات موفقیت آمیز بوده است (چن[8] و همکاران، ۲۰۱۵؛ برتی[9] و همکاران، ۲۰۱۶؛ پوپا و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از مهمترین مسائل و مشکلات اصلی کشت کاملینا اندازه بذر است که به‌طور مستقیم بر رشد و نمو آن اثرگذار است (برتی و همکاران، ۲۰۱۶). بذرهای کاملینا (۱/۵×۰/۷ میلی متر) در مقایسه با سایر گیاهان دانه روغنی ریزتر می‌باشد که ممکن است سبب کاهش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها به‌خصوص تحت شرایط تنش شود (نا[10] و همکاران، ۲۰۱۸).

جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه‌های تولید شده در تکثیر گونه‌های گیاهی از لحاظ اقتصادی و بوم‌شناسی از اهمیت زیادی برخوردار است. جوانه‌زنی نسبت به تنش‌های محیطی و غیرمحیطی حساسیت بالایی دارد، ازاین‌رو، در چرخه زندگی گیاهی مرحله مهمی به‌حساب می‌آید (نانوگاکی[11] و همکاران، ۲۰۱۰). جوانه‌زنی با آبنوشی یا جذب آب توسط بذر در بذرهای خشک بلوغ یافته آغاز و با خروج ریشه‌چه از پوسته بذر (ناحیه احاطه کننده بذر) به پایان می‌رسد (نانوگاکی و همکاران، ۲۰۱۰).

بر اساس شواهد موجود در دهه‌های اخیر، آب و هوای کره زمین در حال تغییر می‌باشد و این تغییرات می‌توانند بر تمامی مراحل رشد و نمو گیاهی اثرگذار باشند (نظافت[12] و همکاران، ۲۰۲۵؛ الیوریا[13] و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین می‌تواند با افزایش شدت تنش‌های محیطی بر تولیدات کشاورزی اثرات منفی داشته باشد (هتفیلد[14] و همکاران، ۲۰۱۱؛ واگان[15] و همکاران، ۲۰۱۸).

دما و تنش اسمزی از عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه است (شفیع و پرایس[16]، ۲۰۰۱؛ انصاری[17] و همکاران، ۲۰۱۸). شوری یکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی و غیرزیستی است که بر تولید محصولات مختلف در مناطق خشک و نیمه خشک اثرگذار است (ابراهیم[18]، ۲۰۱۶). مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه حساس‌ترین مراحل به شوری در گیاهان مختلف هستند (عباسی بیدلی و عباسی مشهدی[19]، ۲۰۱۷) گزارش‌ها حاکی از آن است که اولین اثری که شوری می‌تواند بر رشد گیاهان داشته باشد عدم یکنواختی در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌ها می‌باشد (ابراهیم، ۲۰۱۶؛ گریو[20] و همکاران، ۱۹۹۲). بایرام[21] و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای روی کاملینا تحت شرایط تنش شوری نشان دادند که کاملینا به شوری بسیار مقاوم بوده و قابلیت استقرار سریع و تولید گیاهچه‌ی قوی در سطوح بالای شوری را دارد و شاخص‌های جوانه‌زنی با افزایش سطوح

[1] Hendawy
[2] Popa
[3] Kli´nska
[4] Saha
[5] Sarv
[6] Miyashita & Fujita
[7] Krzy˙zaniak
[8] Chen
[9] Berti
[10] Na

[11] Nonogaki
[12] Nezafat
[13] Oliveira
[14] Hatfield
[15] Vaughan
[16] Shafii & Price
[17] Ansari
[18] Ibrahim
[19] Abbasi Bidli, & Abdali Mashhadi
[20] Grieve
[21] Bayram

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

شوری کاهش یافته و کاهش سرعت جوانه‌زنی به کاهش جذب آب در بذرها مربوط است. هر چه بنیه بذر بیشتر باشد، سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بیشتر و متوسط مدت زمان جوانه‌زنی کمتر می‌شود.

دما نیز با اثرگذاری بر سرعت جذب آب در بذرها نقش مهمی در فعالیت آنزیمی، تغییرات هورمونی و جوانه‌زنی بذرها دارد (بلمهدی[1] و همکاران، ۲۰۱۸؛ اولیوریا و همکاران، ۲۰۱۹؛ بخشنده[2] و همکاران، ۲۰۲۰؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال گیاهان برای جوانه‌زنی دارای دماهای کاردینال جوانه‌زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه‌زنی) می‌باشند (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶). بیان شده است که دماهای کاردینال، به‌طورکلی، به محدوده‌ی سازگاری محیطی یک گونه گیاهی بستگی داشته و همزمانی جوانه‌زنی با شرایط مطلوب جهت مراحل بعدی رشد و گسترش گیاهچه را تضمین می‌کند (آلواردو و بردفورد[3]، ۲۰۰۲).

مراحل یک (جذب فیزیکی آب) و دو (شروع فرآیندهای بیوشیمیایی و هیدرولیز قندها) جوانه‌زنی مهمترین و حساس‌ترین مراحل جوانه‌زنی در واکنش به تنش‌های محیطی است (چن و آرورا[4]، ۲۰۱۳). مهمترین مرحله در جوانه‌زنی مرحله جذب آب برای شروع جوانه‌زنی می‌باشد و به دنبال جذب آب، فعالیت آنزیمی، شروع رشد ناحیه جنین، پاره شدن پوسته بذر و رشد گیاهچه‌ها رخ می‌دهد (اشرف و فولاد[5]، ۲۰۰۵). هر عاملی که بتواند مراحل اول و دوم جوانه‌زنی را کنترل نماید می‌تواند به افزایش بنیه یا قدرت بذر کمک نماید که از جمله تیمارهای افزایش دهنده قدرت بذر می‌توان به تیمارهای پرایمینگ بذر اشاره کرد (انصاری و شریف‌زاده[6]، ۲۰۱۲).

پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه می‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت کشت گیاهان مختلف را فراهم نماید (کامکار[7] و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که جوانه‌زنی، ظهور و استقرار گیاهچه می‌توانند با استفاده از روش‌های مدل‌سازی پیش‌بینی شوند (کولباخ[8] و همکاران، ۲۰۰۵). توانایی پیش‌بینی سبز سبز شدن می‌تواند در تعیین زمان مطلوب عملیات مختلف زراعی مانند کشت و مهار علف‌های هرز گیاهان مختلف تاثیرگذار باشد (حیدری[9] و همکاران، ۲۰۱۴؛ بوهلر[10]، ۲۰۰۰)، بنابراین، انتخاب مدل مناسب جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر به عوامل مختلف محیطی دارای اهمیت است (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶؛ بخشنده و همکاران، ۲۰۲۰).

مدل‌های رگرسیون غیرخطی توانایی کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی و سبز شدن بذرهای گیاهان مختلف به عوامل مختلف محیطی را دارد (هاردگری[11]، ۲۰۰۶؛ سلطانی[12] و همکاران، ۲۰۰۶؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۶). ویژگی مهم این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم زیستی می‌باشند، شبیه دماهای کاردینال و سرعت جوانه‌زنی و سبزشدن. ازاینرو تعدادی از محققین از این مدل‌ها جهت تخمین دماهای کاردینال از قبیل؛ دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف استفاده نموده‌اند (بخشنده و همکاران، ۲۰۲۰؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۶؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱؛ درخشان[13] و همکاران، ۲۰۱۳). مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا از پرکاربردترین مدل‌ها جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما می‌باشند. به‌عنوان مثال انصاری و همکاران (۲۰۱۶) از این مدل‌ها (دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا) برای تعیین دماهای کاردینال پنیرک[14] در سطوح مختلف تنش خشکی استفاده نمودند و نشان دادند در سطوح مختلف تنش خشکی پاسخ جوانه‌زنی متفاوت است.

حسینی سنه‌کوری[15] و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کاملینا به شوری و دما پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایط طبیعی دمای پایه، مطلوب و سقف برای کاملینا به‌ترتیب ۱/۵، ۲۰ و ۳۴/۴ درجه سلسیوس بود. نیکومرام[16] و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا پاسخ

[1] Belmehdi
[2] Bakhshandeh
[3] Alvarado & Bradford
[4] Chen & Arora
[5] Ashraf & Foolad
[6] Ansari & Sharif-Zadeh
[7] Kamkar
[8] Colbach
[9] Heidari
[10] Buhler
[11] Hardegree
[12] Soltani
[13] Derakhshan
[14] Malva sylvestris
[15] Hosseini Sanehkoori
[16] Nikoumaram

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

جوانه‌زنی بذر کلزا به دما و پرایمینگ نشان داد که دما و پرایمینگ بر درصد و سرعت اثر گذار بودند. علاوه براین، نتایج آن پژوهش نشان داد درصد و سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب افزایشی بود و استفاده از تیمارهای پرایمینگ بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش و دماهای کاردینال بذر کلزا را تحت تأثیر قرار داد. اکرم قادری[1] و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای نشان دادند دادند که تیمار پرایمینگ سبب تغییر شکل منحنی پاسخ سرعت جوانه‌زنی به دما و کاهش یک درجه سلسیوس دمای پایه جوانه‌زنی و افزایش محدوده دمایی حداکثر شد. در مطالعه‌ای دیگر، کرمی[2] (۲۰۱۶) با استفاده مدل‌های رگرسیونی غیرخطی واکنش جوانه‌زنی بذر ذرت را به دما و پرایمینگ کمی‌سازی نمودند. نتایج آن پژوهش نشان داد که مناسب‌ترین مدل جهت برآورد دماهای کاردینال بذر ذرت، مدل دو تکه‌ای بود. مطالعات اخیر به‌طور فزاینده‌ای بر ضرورت ارزیابی جوانه‌زنی بذر تحت اثرات توأم عوامل محیطی و مدیریتی، به‌جای بررسی جداگانه هر عامل، تأکید کرده‌اند. در همین راستا، بررسی اثرات متقابل دما، شوری و پرایمینگ بذر برای دستیابی به شناختی واقع‌بینانه‌تر از رفتار جوانه‌زنی و مدل‌سازی دقیق‌تر آن ضروری است. همچنین، پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که بررسی هم‌زمان تنش‌های محیطی و تیمارهای پرایمینگ و استفاده از مدل‌هایی مانند رطوبت-دمایی یا زمان-رطوبت-دمایی می‌تواند در تبیین تغییرات سرعت، یکنواختی و درصد نهایی جوانه‌زنی مؤثر باشد (نظافت و همکاران، ۲۰۲۵).

از آنجایی که کشت و توسعه کاملینا روزبه روز در جهان در حال افزایش است، در سال‌های اخیر مطالعاتی در رابطه با اثر عوامل محیطی و تعیین دماهای کاردینال بذر کاملینا انجام شده است (حسینی سنه‌کوری و همکاران، ۲۰۲۳). ولی از آنجایی که این گیاه دارای بذرهای ریزی می‌باشد و فارغ از اندازه بذر، نیاز به جوانه‌زنی یکنواخت در این گیاه و سایر گیاهان زراعی ضروری است و تاکنون مطالعه‌ی همزمان اثر دما در سطوح شوری و پرایمینگ در کاملینا انجام نشده است، این پژوهش به‌منظور بررسی اثر دما، شوری و پرایمینگ بر جوانه‌زنی و دماهای کاردینال و انتخاب مناسب‌ترین مدل کاملینا در شرایط مختلف به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه پژوهش‌های بذر دانشگاه آزاد واحد ارسنجان و روی بذرهای کاملینا رقم سهیل تهیه شده از موسسه ثبت و گواهی بذر و نهال کرج با رطوبت اولیه ۸ درصد و جوانه‌زنی اولیه ۹۰ درصد به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس، سطوح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار تنش شوری 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 براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای مدت زمان ۱۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بود (این تیمارها بر اساس مقایسه غلظت‌ها در زمان‌های مختلف که توسط نگارندگان انجام شده است، انتخاب شده‌اند). پس از آماده‌سازی بذرها، بذرهای بدون پرایمینگ و پرایمینگ شده در ۴ تکرار ۵۰ بذری در دماهای مورد نظر قرار گرفتند. شمارش و ثبت بذرهای جوانه‌زده تا ثابت شدن جوانه‌زنی ادامه یافت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به طول یک میلی‌متر در نظر گرفته شد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶).

از تابع لجستیک سه پارامتره (رابطه ۱) جهت بررسی روند تغییرات مربوط به درصد جوانه‌زنی در برابر دما استفاده شد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱):

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

که G_{max}، b و a به‌ترتیب نشان‌دهنده؛ حداکثر درصد جوانه‌زنی، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و ضریب معادله می‌باشد. از معکوس کردن زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) برحسب جمعیت با استفاده از درون‌یابی در هر دما، سطح شوری و تیمار پرایمینگ بذر برآورد شد (سرعت جوانه‌زنی بر اساس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت برآورد گردید) (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶). از مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا (جدول ۱) جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر کاملینا به دما، شوری و پرایمینگ و برآورد

[1] Akramghaderi
[2] Karami

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

جدول ۱- مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای و بتای برازش داده شده به سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف. T_b، T_{o1}، T_{o2}، T_o، T_c، f_o، a و T به‌ترتیب نشان دهنده دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی، دمای مطلوب، دمای بیشینه، ضریب ثابت و دما (دمای مورد آزمایش) می‌باشد.

Table 1- Segmented, dent-like, and beta models fitted to germination rate data at various temperatures to estimate cardinal temperatures. Tb, To1, To2, To, Tm, fo, and T represent base temperature, lower optimum temperature, upper optimum temperature, optimum temperature, ceiling temperature, constant coefficient, and experimental temperature, respectively.

تابع Function	فرمول Formula
دندان مانند (پیپر[1] و همکاران، ۱۹۹۶) Dent-like	$f(T)= (T-T_b)/(T_{o1}-T_b)$ 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 $T\geq T_c$
دو تکه‌ای (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶) Segmented	$f(T)= (T-T_b)/(T_o-T_b)$ 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[2] و همکاران، ۱۹۹۵) Beta	$f(T)= ((T_c-T)/(T_c-T_o))*((T-T_b)/(T_o-T_b))^{(To-Tb)/(Tc-To)}$

دماهای کاردینال استفاده گردید (جدول ۱). تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک نرم‌افزار سیگماپلات انجام شد.

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 پارمترها به‌دست آمد. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس اشتباه آزمایشی کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف[3] 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 به‌دست آمده توسط مدل‌های استفاده شده در این پژوهش از خطای استاندارد محاسبه شده توسط مدل استفاده شد.

[1] Piper
[2] Yin
[3] RMSE

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی دما، تیمار پرایمینگ و سطوح شوری بر درصد جوانه‌زنی بذر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه نیز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد نشان دادند (نتایج نشان داده نشد). این موضوع بیانگر آن است که پاسخ جوانه‌زنی بذر تحت شرایط مختلف شوری، به شدت وابسته به نوع تیمار پرایمینگ و دمای جوانه‌زنی بوده و هیچ‌یک از فاکتورها به‌صورت مستقل قابل تفسیر دقیق نیستند.

از نظر زیستی، معنی‌دار شدن اثر سه‌گانه نشان می‌دهد که ترکیب همزمان عوامل محیطی و فیزیولوژیک تعیین‌کننده بیشترین تغییرات در جوانه‌زنی بوده و هر دما و هر سطح شوری، واکنش متفاوتی نسبت به انواع پرایمینگ ایجاد کرده است. این امر با یافته‌های پژوهش‌های قبلی درباره نقش مهم پرایمینگ در بهبود تحمل تنش در بذرها همخوانی دارد (انصاری و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، درصد جوانه‌زنی بسته به ترکیب تیمارها از ۹۸/۶۷ درصد در بهترین شرایط تا ۲ درصد در نامطلوب‌ترین شرایط در نوسان بود (جدول ۲).

به‌طور کلی، افزایش دما تا ۲۰ درجه سلسیوس باعث افزایش چشمگیر جوانه‌زنی شد، به‌گونه‌ای که بیشترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و در تیمارهای پرایمینگ ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک، ۵۰ میلی‌گرم در لیتر براسینواستروئید و هیدروپرایم (صفر) در شرایط بدون شوری مشاهده شد. در این تیمارها، درصد جوانه‌زنی اغلب بیش از ۹۵ درصد بود که نشان‌دهنده قرار داشتن این دما در محدوده دمای بهینه برای فعال‌شدن آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی و تسهیل جذب آب اولیه است. در مقابل، دماهای ۳۰ و به‌ویژه ۳۵ درجه سلسیوس سبب کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی شدند و در شرایط شوری شدید این کاهش به حداقل مقدار جوانه‌زنی یعنی حدود ۲ درصد در برخی تیمارها رسید (جدول ۲).

اثر شوری نیز به‌طور مستقل و در حضور سایر عوامل سبب کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی شد. در حالی که شوری صفر میلی‌مول بهترین شرایط را برای جوانه‌زنی فراهم

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

کرد، افزایش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش متوسط و افزایش آن به ۲۰۰ میلی‌مولار کاهش بسیار شدید در جوانه‌زنی ایجاد نمود. تشدید اثر بازدارنده شوری در دماهای بالا احتمالاً حاصل اثر هم‌زمان محدودیت اسمزی و تنش حرارتی است. شوری با کاهش پتانسیل آب محیط، آب‌گیری بذر و فعال‌شدن فرایندهای متابولیکی جوانه‌زنی را محدود می‌کند؛ درحالی‌که دمای بالا نیز می‌تواند با افزایش تنفس، برهم‌زدن پایداری غشاها و تشدید تنش اکسیداتیو، توانایی بذر را برای تحمل شرایط شور کاهش دهد.

تیمارهای پرایمینگ نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش اثرات منفی شوری داشتند. پرایمینگ با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک و براسینواستروئید در تمام سطوح شوری و دما عملکردی برتر از تیمارهای بدون پرایم و هیدروپرایم داشت و در بسیاری از شرایط باعث افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. این دو تیمار توانستند حتی در شرایط شوری متوسط و دماهای زیر ۲۵ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی را در سطح قابل قبول و بدون اختلاف معنی‌دار با شرایط بدون تنش حفظ کنند. هیدروپرایمینگ نیز تأثیر مثبت داشت اما کارایی آن کمتر از دو تیمار هورمونی بود. در شرایط دمای بالا (۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس)، هیچ‌یک از تیمارهای پرایمینگ نتوانستند افت شدید ناشی از ترکیب گرما و شوری را به‌طور کامل جبران کنند. بررسی اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که بهترین شرایط جوانه‌زنی مربوط به ترکیب دمای ۲۰ درجه سلسیوس، شوری صفر و پرایمینگ‌های ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک و براسینواستروئید به‌ترتیب با جوانه‌زنی ۹۸/۶۷ درصد بود؛ در حالی که پایین‌ترین مقادیر جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در تمامی تیمارها با صفر درصد مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که اثربخشی پرایمینگ به‌شدت به دما و شدت تنش شوری وابسته است و در شرایط بهینه دمایی، پرایمینگ‌های فیزیولوژیکی قادرند اثرات منفی شوری را تا حد زیادی کاهش دهند، اما در ترکیب با دماهای بالا عملکرد آن‌ها محدود می‌شود (جدول ۲).

از مدل لجستیک ۳ پارامتره جهت برازش به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی و محاسبه سرعت جوانه‌زنی بر اساس مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی در دماهای مختلف و سطوح تنش شوری مختلف و همچنین تیمارهای پرایمینگ بذر استفاده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که استفاده از تیمار پرایمینگ بذر، سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی در دماها و سطوح مختلف تنش شوری شد (جدول ۳)، همچنین تا دمای ۲۰ درجه سلسیوس با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی روندی افزایشی و بعد از آن روندی کاهشی را نشان داد (جدول ۳). نتایج مرتبط با زمان رسیدن به ۵۰ درصد نهایی جوانه‌زنی نشان داد که با افزایش دما روند تغییرات زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی کاهشی بود، علاوه براین، استفاده نمودن از تیمارهای پرایمینگ بذر، سبب کاهش مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی شد، که نشان دهنده بیشتر شدن سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای پرایمینگ می‌باشد، کمترین زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت در دماهای مختلف از تیمار پرایمینگ بذر با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد؛ ولی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تفاوتی بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد که بیانگر این موضوع است که تیمار پرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی در دماهای مطلوب جوانه‌زنی بی تاثیر بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که بذر کاملینا در محدوده‌ی وسیعی از دماهای مختلف توانایی جوانه‌زنی دارد اما نسبت به دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس حساس می‌باشد و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی متوقف می‌شود. در دمای ۳۵ درجه سلسیوس و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار جوانه‌زنی مشاهده نشد و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار جوانه‌زنی پایینی مشاهده شد (جدول ۲). در تعدادی از گیاهان مانند *Polypogon fugax* (وو[1] و همکاران، ۲۰۱۵) و *S. rostratum* (ویو[2] و همکاران، ۲۰۰۹) مشخص شده است که به حد آستانه دمایی جهت جوانه‌زنی نیاز است، درحالی که جوانه‌زنی گیاهانی مانند *Malva sylvestris* (انصاری و همکاران، ۲۰۱۶)، *Gomphrena perennis* (آکوستا[3] و همکاران، ۲۰۱۴) و *Urena lobata* (وانگ[4] و همکاران، ۲۰۰۹) نیازمند حد

[1] Wu
[2] Wei
[3] Acosta
[4] Wang

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

جدول ۲- درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف، شوری و تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر برای بذر کاملینا.

Table 2- Germination percentage under different temperatures, salinity levels, and seed priming treatments for camelina seeds.

دما (°C) Temperature (C°)	پرایمینگ بذر Seed priming	شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM) 0	100	200
5	بدون پرایم (non-primed)	86.00 jkl	0.00 z	0.00 z
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	88.00 ijk	78.00 nop	66.00 rst
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	90.67 ghi	80.00 mno	68.67 qrs
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	93.33 efg	84.67 klm	70.67 pqr
10	بدون پرایم (non-primed)	88.67 hij	86.00 jkl	70.67 pqr
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	91.33 fgh	81.33 mno	70.00 pqr
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	93.33 efg	86.00 jkl	78.67 nop
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	94.67 def	90.67 ghi	80.00 mno
15	بدون پرایم (non-primed)	93.33 efg	91.33 fgh	76.67 opq
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	94.00 def	93.33 efg	78.67 nop
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	96.00 bcd	94.67 def	80.00 mno
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	96.00 bcd	94.67 def	82.67 lmn
20	بدون پرایم (non-primed)	94.00 def	93.33 efg	86.00 jkl
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	98.67 a	96.00 bcd	90.00 ghi
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	98.67 a	96.67 abc	90.00 ghi
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	98.67 a	96.67 abc	93.33 efg
25	بدون پرایم (non-primed)	86.00 jkl	76.67 opq	48.67 w
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	88.67 hij	82.67 lmn	77.33 opq
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	91.33 fgh	88.67 hij	78.00 nop
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	92.67 efg	90.67 ghi	80.67 mno
30	بدون پرایم (non-primed)	76.67 opq	54.00 v	24.67 y
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	77.33 opq	56.67 uv	28.67 xy
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	82.67 lmn	59.33 u	31.33 x
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	83.33 klm	64.67 st	36.67 x
35	بدون پرایم (non-primed)	38.00 x	18.67 yz	0.00 z
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	42.67 wx	6.00 z	0.00 z
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	44.00 wx	7.33 z	0.00 z
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	47.33 w	9.33 z	0.00 z
LSD		2.6	6.9	4.8

به‌دلیل تفاوت زیاد دامنه مقادیر X_{50} میان سطوح شوری، تجزیه آماری برای هر سطح شوری به‌طور جداگانه انجام شد. مقادیر LSD0.05 فقط برای مقایسه مقادیر درون ستون شوری مربوطه معتبرند و برای مقایسه بین سطوح شوری قابل استفاده نیستند.

Due to substantial variation in the range of X50 values across salinity levels, statistical analyses were conducted separately for each salinity level. The $LSD_{0.05}$ values are valid only for comparisons within the same salinity level and should not be used for comparisons between different salinity levels.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

جدول ۳- مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) جمعیت به‌دست آمده از مدل لجستیک سه پارامتره برازش داده شده به درصد جوانه‌زنی تجمعی در دماهای مختلف، شوری و تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر برای بذر کاملینا.

Table 3- Germination t_{50} values (hours) estimated by fitting the three-parameter logistic model to cumulative germination percentage data under various temperature, salinity, and priming conditions in camelina

دما (°C)	پرایمینگ بذر	Salinity (mM)	شوری (میلی‌مولار)	
Temperature (C°)	Seed priming	0	100	200
5	بدون پرایم (non-primed)	230.65	-	-
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	182.54	432.65	676.54
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	135.67	343.76	620.54
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	122.65	310.76	600.54
10	بدون پرایم (non-primed)	88.43	273.98	421.87
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	83.54	235.43	420.54
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	75.43	186.43	321.54
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	62.65	176.61	263.15
15	بدون پرایم (non-primed)	63.49	168.65	234.65
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	57.63	134.65	201.65
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	43.67	108.87	197.43
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	34.87	105.65	190.54
20	بدون پرایم (non-primed)	44.87	110.54	180.76
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	39.98	98.43	167.76
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	33.65	96.76	150.76
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	32.45	93.54	146.76
25	بدون پرایم (non-primed)	60.56	213.65	-
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	58.65	145.65	328.46
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	52.34	139.87	297.12
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	46.76	136.76	260.54
30	بدون پرایم (non-primed)	137.76	300.65	-
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	112.44	555.55	-
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	100.65	384.6154	-
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	99.54	333.33	-
35	بدون پرایم (non-primed)	-	-	-
	پرایمینگ با آب (Hydroprime)	-	-	-
	پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm GA)	-	-	-
	پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (priming with 50 ppm Br)	-	-	-
LSD		13.65	37.43	52.43

به‌دلیل تفاوت زیاد دامنه مقادیر X_{50} میان سطوح شوری، تجزیه آماری برای هر سطح شوری به‌طور جداگانه انجام شد. مقادیر $LSD_{0.05}$ فقط برای مقایسه مقادیر درون ستون شوری مربوطه معتبرند و برای مقایسه بین سطوح شوری قابل استفاده نیستند.

Due to substantial variation in the range of X50 values across salinity levels, statistical analyses were conducted separately for each salinity level. The $LSD_{0.05}$ values are valid only for comparisons within the same salinity level and should not be used for comparisons between different salinity levels.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

آستانه جوانه‌زنی نیستند و در محدوده‌گسترده‌ای از دماهای مختلف قادر به جوانه‌زنی می‌باشند. همچنین در مطالعه‌ای روی کاملینا حسینی سنه‌کوری و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که جوانه‌زنی بذرهای کاملینا در دمای ۴۰ درجه سلسیوس متوقف خواهد شد و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین سرعت جوانه‌زنی به‌دست آمد و در دماهای بالاتر و پایین‌تر از آن سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت.

نتایج نشان داد که استفاده از تیمارهای پرایمینگ بذر سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر کاملینا تحت شرایط دماهای مختلف شد، ولی نتایج نشان دهنده اثر بیشتر تیمار پرایمینگ بذر در دماهای کمتر و بیشتر از دمای مطلوب بود (جدول ۳). به‌طوری که کمترین زمان رسیدن به ۵۰ درصد در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس و در شرایط بدون تنش به‌ترتیب با میانگین ۱۲۲/۶۵، ۶۲/۶۵، ۳۴/۸۷، ۳۲/۴۵، ۹۹/۵۴ و ۲۱۶/۸۷ ساعت مربوط به تیمار پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود و در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار تنش شوری نیز کمترین زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی مربوط به همین تیمار بود. همچنین نتایج نشان داد اثرگذاری تیمار پرایمینگ در دماهای پایین‌تر بیشتر از دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌باشد (جدول ۳). به‌طورکلی نتایج تحقیقات مختلف نشان دهنده اثر مثبت تیمار پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی است، پاتاده[1] و همکاران (۲۰۱۱)، بیان کردند که کاربرد تیمارهای مختلف پرایمینگ باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی در بذر فلفل تحت شرایط تنش سرما شد. همانند نتایج حاصل شده برای بذر کاملینا، برای دیگر گونه‌های گیاهی نیز اثرات مثبت تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و در دماهای مختلف گزارش شده‌اند (انصاری و همکاران، ۲۰۱۳؛ کرمی و همکاران، ۲۰۱۶؛ قادری فر[2] و همکاران، ۲۰۰۹).

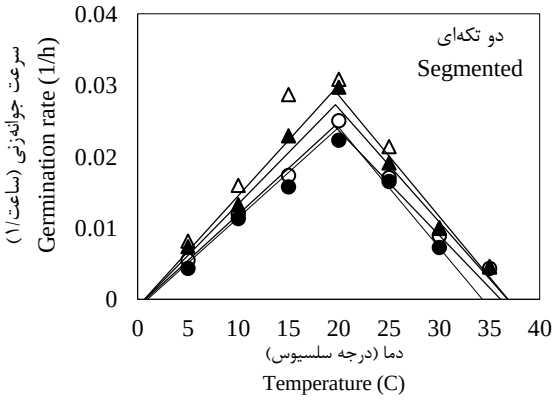
جهت برآورد دماهای پایه، مطلوب و سقف نیاز به برآورد سرعت جوانه‌زنی می‌باشد که زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت برای دماها و تیمارهای مختلف با استفاده از برازش مدل لجستیک ۳ پارامتره به درصد جوانه‌زنی تجمعی به‌دست آمد. در این رابطه کامکار و همکاران (۲۰۱۱) از مدل لجستیک ۳ پارامتره برای محاسبه D_{50} استفاده نمودند. علاوه براین، از دیگر مدل‌های سیگموئیدی برای کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به زمان جهت محاسبه زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و محاسبه سرعت جوانه‌زنی استفاده شده است. از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره؛ شفیع و پرایس (۲۰۰۱) و انصاری و همکاران (۲۰۱۶) و از مدل ویبول؛ دومر[3] و همکاران (۱۹۹۰) و درخشان و همکاران (۲۰۱۳) جهت محاسبه D_{50} و سرعت جوانه‌زنی استفاده کردند. در مطالعه‌ای انصاری و همکاران (۲۰۱۶) روی گیاه دارویی پنیرک، گزارش کردند که برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی باید با استفاده از درون‌یابی زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت محاسبه و سرعت جوانه‌زنی بر حسب جمعیت و برای تیمارها و دماهایی که درصد جوانه‌زنی بالاتر از ۵۰ درصد دارند برآورد شوند که در این آزمایش نیز محاسبه سرعت جوانه‌زنی بر اساس این اصل در تمامی دماها و تیمارهای استفاده شده برآورد شد.

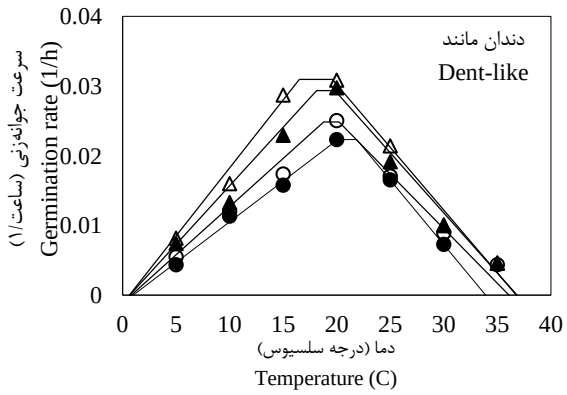
بعد از برآورد سرعت جوانه‌زنی با استفاده از درون یابی و استفاده از خروجی مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره، مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا به داده‌های سرعت جوانه‌زنی برای تیمارهای پرایمینگ بذر در سطوح تنش شوری مورد آزمایش، برازش داده شد (شکل ۱، ۲ و ۳). با استفاده از مدل‌های ذکر شده و برای تیمارهای مختلف دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف برآورد شدند (جدول ۶-۴).

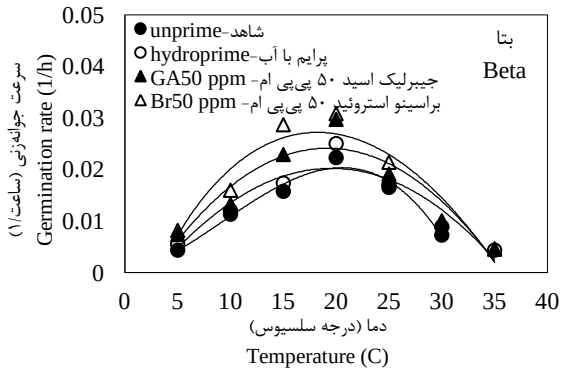
نتایج نشان داد که با استفاده از مدل دوتکه‌ای در شرایط شاهد (بدون تنش)، دمای پایه تخمین زده شده برای بذر بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب برابر با ۰/۹۸، ۰/۸، ۰/۷۴ و ۰/۶۶ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۰/۸۱، ۰/۶۶ و ۰/۶۳ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا برابر با ۰/۳۴، ۰/۲۳، ۰/۲ و ۰/۲ درجه سلسیوس (جدول ۴)،

[1] Patade
[2] Ghaderifar
[3] Dumur

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

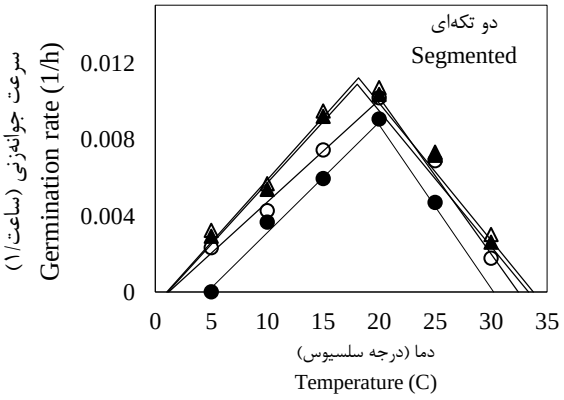


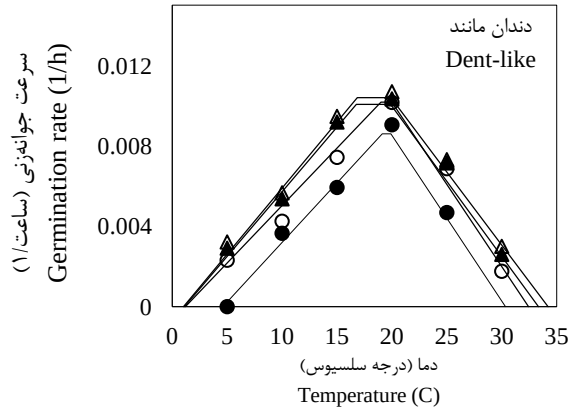


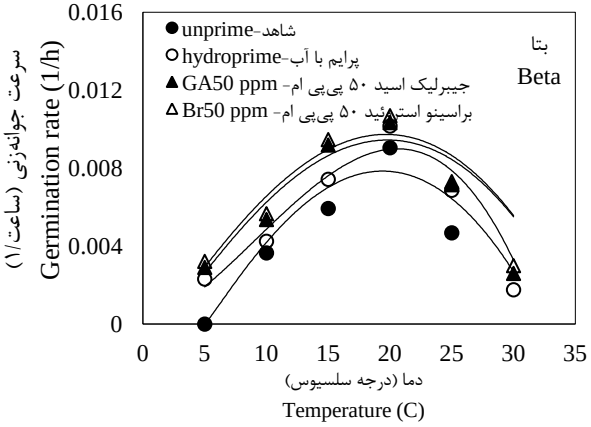


شکل ۱- سرعت جوانه‌زنی پیش بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر کاملینا با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و تیمارهای پرایمینگ تحت شرایط بدون تنش.

Figure 1- Predicted (solid lines) and observed (symbols) germination rates of camelina seeds under non-stress conditions at different temperatures and priming treatments, fitted using segmented, dent-like, and beta models.





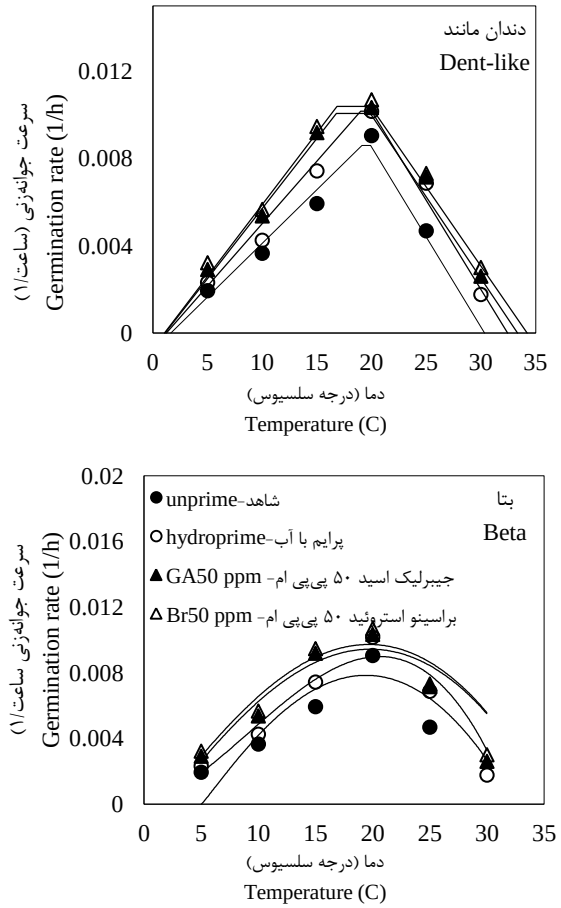


شکل ۲- سرعت جوانه‌زنی پیش بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر کاملینا با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و تیمارهای پرایمینگ تحت شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار.

Figure 2- Predicted (solid lines) and observed (symbols) germination rates of camelina seeds at different temperatures and priming treatments using segmented, dent-like, and beta models under 100 mM salinity stress.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]



شکل ۳- سرعت جوانه‌زنی پیش بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر کاملینا با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و تیمارهای پرایمینگ تحت شرایط تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار.

Figure 3- Predicted (solid lines) and observed (symbols) germination rates of camelina seeds at different temperatures and priming treatments using segmented, dent-like, and beta models under 200 mM salinity stress.

دمای پایه تخمین زده شده در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با استفاده از مدل دوتکه‌ای به‌ترتیب برابر با ۱/۹، ۱/۲۱، ۱/۱ و ۱/۰۳ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب برابر با ۱/۶۲، ۱/۲۱، ۱/۱ و ۱/۰۳ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب برابر با ۴/۳۴، ۳/۲۳، ۰/۲ و ۰/۲ درجه سلسیوس (جدول ۵) و دمای پایه تخمین زده شده در شرایط تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار با استفاده از مدل دوتکه‌ای به‌ترتیب برابر با ۴/۸۱، ۱/۷۸، ۱/۶۷ و ۱/۵۶ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب برابر با ۴/۸۱، ۱/۵۵، ۰/۶۹ و ۱/۶ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب برابر ۴/۵۶، ۱/۵۵، ۱/۴۲ و ۱/۲۷ درجه سلسیوس بود (جدول ۶).

برای شرایط بدون تنش (شاهد) و تیمارهای بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای به‌ترتیب برابر با ۲۰، ۱۹/۵۷، ۱۹/۶۹ و ۱۹/۵۴ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب برابر با ۲۰/۵۹، ۱۹/۵۷، ۱۹/۵۶ و ۱۹/۵۶ درجه سلسیوس تخمین زده شد، با استفاده از مدل دندان مانند دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به‌ترتیب ۲۰/۱۱ و ۲۱/۸۸، ۱۸/۸ و ۲۰/۲۲، ۱۸/۱۳ و ۱۹/۸۴ و ۱۶/۵ و ۱۹/۶ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۴). دمای سقف با استفاده از مدل دو تکه‌ای به‌ترتیب ۳۴/۳، ۳۶/۱، ۳۶/۸ و ۳۶/۸۴ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۳۳/۹۲، ۳۴/۳، ۳۶/۸۴ و ۳۶/۸ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب ۳۳/۸۸، ۳۵/۹، ۳۵/۷۱ و ۳۵/۷ درجه سلسیوس تخمین زده شد (جدول ۴). تعداد ساعات زیستی با استفاده از مدل دو تکه‌ای به‌ترتیب ۴۲/۴۵، ۴۱/۵۴، ۳۴/۱۱ و ۲۹/۴۹ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۴۴/۸۵، ۴۰/۲۵، ۳۴/۱۱ و ۳۲/۳۳ ساعت و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب ۴۹/۱۳، ۴۹/۰۹، ۳۶/۷ و ۳۶/۷ ساعت تخمین زده شد (جدول ۴).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

برای تیمارهای بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و با استفاده از مدل دوتکه‌ای دمای مطلوب به‌ترتیب ۱۹/۸۹، ۲۰/۱، ۱۹/۵۴ و ۱۹/۹ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب ۱۹/۵۹، ۱۹/۶۷، ۱۹/۴۵ و ۱۹/۴۸ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۵)، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۱۹/۱۱ و ۱۹/۹۱، ۱۹ و ۲۰، ۱۶/۷۶ و ۱۹/۸۶ و ۱۶/۸۴ و ۱۹/۸۴ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۵)، دمای سقف با استفاده از مدل دو تکه‌ای به‌ترتیب ۳۰/۲۳، ۳۲/۴۳، ۳۳/۳۴ و ۳۳/۷۶ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۳۰/۳۳، ۳۲/۴۳، ۳۳/۳۴ و ۳۴/۲۱ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب ۳۰/۹۷، ۳۱/۴۳، ۳۲/۶۵ و ۳۳/۷۲ درجه سلسیوس تخمین زده شد (جدول ۵)، با استفاده از مدل دو تکه‌ای تعداد ساعات زیستی به‌ترتیب ۱۱۳/۲۷، ۹۹، ۹۲/۰۷ و ۸۹/۲۵ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۱۱۶/۳۴، ۹۸/۳۳، ۹۶/۳۸ و ۹۶/۲۵ ساعت و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب ۱۲۷/۴۳، ۱۱۱/۲۱، ۱۰۵/۹۲ و ۱۰۲/۷۹ ساعت تخمین زده شد (جدول ۵).

در شرایط تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار با استفاده از مدل دوتکه‌ای و برای تیمارهای بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، دمای مطلوب به‌ترتیب برابر با ۱۹/۵۴، ۱۹/۸۷، ۱۹/۷۸ و ۱۹/۸۹ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب برابر با ۱۹/۰۴، ۱۹/۳۲، ۱۹/۲۳ و ۱۹/۱۱ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۶)، با استفاده از مدل دندان مانند دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به‌ترتیب برابر با ۱۷/۹۸ و ۱۹/۷۲، ۱۸/۸ و ۱۹/۱۴، ۱۸/۴۳ و ۲۰ و ۱۷ و ۲۰ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دو تکه‌ای دمای سقف به‌ترتیب ۲۵/۵۴، ۲۹/۸۷، ۲۹/۸۷ و ۳۱ درجه سلسیوس، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب ۲۵/۴۳، ۲۹/۸۷، ۲۹/۸۷ و ۳۰/۸۷ درجه سلسیوس و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب ۲۵/۸۷، ۲۸/۹۷، ۲۹/۹۸ و ۲۹/۶۷ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۶)، تعداد ساعات زیستی با استفاده از مدل دو تکه‌ای به‌ترتیب برابر با ۱۶۵/۷۴، ۱۶۴/۸۷، ۱۵۲/۸۱ و ۱۴۴/۴۴ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند به‌ترتیب برابر با ۱۷۸/۰۹، ۱۶۶/۵۳، ۱۶۰/۰۱ و ۱۶۹/۳۷ ساعت و با استفاده از مدل بتا به‌ترتیب برابر با ۱۸۰/۷، ۱۸۴/۳۶، ۱۷۷/۵۲ و ۱۶۹/۷۷ ساعت تخمین زده شد (جدول ۶).

جهت بررسی دقت و انتخاب مناسب‌ترین مدل از میان مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا استفاده شده از نمودار خط یک به یک سرعت جوانه‌زنی واقعی (مشاهده شده) در برابر سرعت جوانه‌زنی تخمین زده شده (پیش‌بینی شده توسط مدل) استفاده گردید. برای تمامی تیمارهای آزمایشی و با استفاده از نمودار خط یک به یک مقادیر RMSE، CV (هر چقدر کمتر دقت مدل بالاتر) و ضرایب رگرسیون a و b (R^2Adj) بالا نشان دهنده دقت بیشتر) محاسبه گردیدند (جدول ۴، ۵ و ۶).

نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش مناسب‌ترین مدل برای تیمار بدون پرایمینگ مدل دوتکه‌ای و برای تیمار پرایمینگ بذر با آب و پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مدل دوتکه‌ای و دندان مانند بود (جدول ۴). در شرایط تنش ۱۰۰ میلی‌مولار برای تیمار بدون پرایمینگ مناسب‌ترین مدل، مدل دوتکه‌ای و دندان مانند و برای تیمار پرایمینگ با آب مدل دوتکه‌ای و برای تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک و براسینواستروئید مناسب‌ترین مدل، استفاده از مدل دندان مانند بود (جدول ۵). در شرایط تنش ۲۰۰ میلی‌مولار مناسبترین مدل برای تیمارهای بدون پرایمینگ و پرایمینگ با آب و اسید جیبرلیک، مدل دوتکه‌ای و برای تیمار پرایمینگ با براسینواستروئید مناسب‌ترین مدل، مدل دوتکه‌ای و دندان مانند بود (جدول ۶).

اگرچه برآورد عددی دمای پایه در تیمارهای پرایمینگ عموماً کمتر از تیمار بدون پرایمینگ بود، با توجه به خطاهای استاندارد نسبتاً زیاد و انجام نشدن آزمون مستقیم مقایسه پارامترها، نمی‌توان این کاهش را از نظر آماری معنی‌دار دانست. ولی در شرایط بدون تنش بین تیمارهای بدون پرایمینگ و پرایمینگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد؛ اما در شرایط تنش شوری بین تیمارهای پرایمینگ و بدون پرایمینگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تمامی تیمارهای پرایمینگ دمای پایه

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

کاملینا را در سطوح شوری حدود ۳ درجه سلسیوس کاهش دادند (جدول ۴، ۵ و ۶).

همچنین نتایج نشان داد که تنش شوری و تیمارهای پرایمینگ سبب تغییر در دمای سقف شد، به‌طوری که با افزایش شدت شوری دمای سقف کاهش و با استفاده از تیمار پرایمینگ دمای سقف افزایش یافت و این افزایش در دمای سقف به واسطه استفاده از پرایمینگ در سطوح بالاتر تنش شوری به‌خوبی قابل مشاهده بود. در مطالعه‌ای روی کاملینا حسینی سنه‌کوری و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که با افزایش تنش شوری دمای سقف کاملینا کاهش یافت ولی سطوح مختلف تنش شوری بر دمای پایه و دمای مطلوب بذر کاملینا تاثیر نداشت که نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج تحقیق نامبردگان همخوانی دارد.

جدول ۴- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات زیستی (f_o)، عرض از مبدا (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذر کاملینا تحت شرایط بدون تنش. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد. a، b، c و d به‌ترتیب نشان دهنده تیمارهای بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ (هورمون پرایمینگ با اسید جیبرلیک) و پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ (هورمون پرایمینگ با براسینواستروئید) میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

Table 4. Estimated base temperature (Tb), optimum temperature (To), lower (To1) and upper (To2) optimum temperatures, ceiling temperature (Tc), biological time (fo), intercept (a), and slope of the regression line between predicted and observed germination rates for camelina seeds under non-stress conditions, as derived from nonlinear regression models. Values in parentheses are standard errors. A, B, C, and D denote non-primed (dry seed), hydroprimed, gibberellic acid-primed (50 ppm), and brassinosteroid-primed (50 ppm) treatments, respectively.

مدل	دو تکه‌ای				دندان مانند				بتا			
Model	Segmented				Dent- like				Beta			
ضرایب (Parameters)	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
t_b	0.98 (1.48)	0.8 (1.13)	0.74 (1.68)	0.66 (1.48)	0.99 (1.95)	0.81 (1.46)	0.66 (1.31)	0.63 (1.08)	0.34 (5.08)	0.23 (5.43)	0.2 (4.41)	0.2 (6.42)
t_o	20 (1.91)	19.57 (1.54)	19.69 (1.32)	19.54 (1.91)	-	-	-	-	20.59 (4.84)	19.57 (4.34)	19.56 (5.35)	19.56 (4.37)
t_{o1}	-	-	-	-	20.11 (6.09)	18.8 (5.51)	18.13 (3.78)	16.5 (3.44)	-	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	-	21.88 (5.63)	20.22 (4.36)	19.84 (3.09)	19.6 (2.55)	-	-	-	-
t_c	34.3 (1.68)	36.1 (1.76)	36.8 (1.06)	36.84 (1.68)	33.92 (1.97)	34.3 (3.02)	36.84 (1.73)	36.8 (1.46)	33.88 (3.04)	35.9 (3.29)	35.71 (3.29)	35.7 (3.3)
f_o	42.45 (1.53)	41.54 (1.79)	34.11 (1.73)	29.49 (1.53)	44.85 (4.38)	40.25 (4.38)	34.11 (2.73)	32.33 (1.22)	49.13 (7.02)	49.09 (7.57)	36.7 (5.18)	36.7 (5.86)
a	0.0001	0.00003	0.0002	0.00001	0.00004	0.0003	0.0003	0.00002	0.0007	0.0007	0.00004	0.00008
b	0.99**	0.98**	0.97*	0.99**	0.96**	0.99**	0.99*	0.99**	0.94*	0.93*	0.90*	0.96**
R^2Adj	0.90	0.98	0.93	0.93	0.80	0.96	0.92	0.98	0.91	0.74	0.72	0.78
RMSE	0.0008	0.0005	0.0009	0.008	0.001	0.0006	0.0009	0.007	0.009	0.003	0.008	0.008
CV %	5.12	8.84	8.76	9.65	8.89	8.99	8.88	8.99	22.45	19.11	20.76	20.16

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

جدول ۵- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات زیستی (f_o)، عرض از مبدا (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذر کاملینا تحت شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد. a، b، c و d به‌ترتیب نشان دهنده تیمارهای بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ (هورمون پرایمینگ با اسید جیبرلیک) و پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ (هورمون پرایمینگ با براسینواستروئید) میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

Table 5. Estimated base temperature (Tb), optimum temperature (To), lower (To1) and upper (To2) optimum temperatures, ceiling temperature (Tc), biological time (fo), intercept (a), and slope of the regression line between predicted and observed germination rates for camelina seeds under 100 mM salinity stress, as derived from nonlinear regression models. Values in parentheses are standard errors. A, B, C, and D denote non-primed (dry seed), hydroprimed, gibberellic acid-primed (50 ppm), and brassinosteroid-primed (50 ppm) treatments, respectively.

مدل	دو تکه‌ای				دندان مانند				بتا			
Model	Segmented				Dent- like				Beta			
ضرایب (Parameters)	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
t_b	1.9 (2.48)	1.21 (1.65)	1.1 (1.74)	1.03 (1.12)	1.62 (0.76)	1.21 (1.11)	1.1 (1.03)	1.03 (1.01)	4.34 (5.87)	3.23 (5.12)	0.2 (4.87)	0.2 (6.11)
t_o	19.89 (1.21)	20.1 (1.11)	19.54 (1.65)	19.9 (1.87)	-	-	-	-	19.59 (4.92)	19.67 (4.87)	19.45 (5.11)	19.48 (4.87)
t_{o1}	-	-	-	-	19.11 (3.54)	19 (5.87)	16.76 (1.92)	16.84 (2.76)	-	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	-	19.91 (4.54)	20 (5.76)	19.86 (2.11)	19.84 (2.12)	-	-	-	-
t_c	30.23 (1.35)	32.43 (1.11)	33.34 (2.86)	33.76 (2.98)	30.33 (1.97)	32.43 (3.02)	33.34 (1.73)	34.21 (1.46)	30.97 (3.8u)	31.43 (4.76)	32.65 (4.76)	33.72 (6.43)
f_o	113.27 (8.67)	99 (4.15)	92.07 (5.04)	89.25 (4.88)	116.34 (9.64)	98.33 (4.98)	96.38 (4.45)	96.25 (3.22)	127.43 (20.29)	111.21 (10.59)	105.92 (10.22)	102.79 (10.76)
a	0.0001	0.0001	0.0002	0.00001	0.00003	0.00003	0.00002	0.0002	0.0004	0.0009	0.0004	0.00006
b	0.99**	0.98**	0.97*	0.99**	0.96**	0.99**	0.99*	0.99**	0.94*	0.93*	0.90*	0.96**
R^2Adj	0.99	0.9	0.93	0.87	0.98	0.79	0.97	0.98	0.64	0.82	0.73	0.72
RMSE	0.0003	0.0005	0.0006	0.0009	0.0003	0.0008	0.0004	0.0004	0.007	0.005	0.009	0.009
CV %	5.12	5.96	4.76	6.65	5.16	7.84	3.88	3.75	19.96	18.32	17.87	17.53

جدول ۶- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات زیستی (f_o)، عرض از مبدا (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذر کاملینا تحت شرایط تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد. a، b، c و d به‌ترتیب نشان دهنده تیمارهای بدون پرایمینگ (بذر خشک)، پرایمینگ با آب (هیدروپرایم)، پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ (هورمون پرایمینگ با اسید جیبرلیک) و پرایمینگ با براسینواستروئید ۵۰ (هورمون پرایمینگ با براسینواستروئید) میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

Table 6. Estimated base temperature (Tb), optimum temperature (To), lower (To1) and upper (To2) optimum temperatures, ceiling temperature (Tc), biological time (fo), intercept (a), and slope of the regression line between predicted and observed germination rates for camelina seeds under 200 mM salinity stress, as derived from nonlinear regression models. Values in parentheses are standard errors. A, B, C, and D denote non-primed (dry seed), hydroprimed, gibberellic acid-primed (50 ppm), and brassinosteroid-primed (50 ppm) treatments, respectively.

مدل	دو تکه‌ای				دندان مانند				بتا			
Model	Segmented				Dent- like				Beta			
ضرایب (Parameters)	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
t_b	4.81 (2.65)	1.78 (1.02)	1.67 (1.12)	1.56 (1.01)	4.81 (1.95)	1.55 (2.54)	0.69 (1.99)	1.6 (1.98)	4.56 (6.43)	1.55 (8.98)	1.42 (7.65)	1.27 (4.88)
t_o	19.54 (1.44)	19.87 (1.51)	19.78 (1.54)	19.89 (1.22)	-	-	-	-	19.04 (7.65)	19.32 (8.87)	19.23 (9.22)	19.11 (9.54)
t_{o1}	-	-	-	-	17.98 (6.76)	18.8 (5.76)	18.43 (4.32)	17 (3.44)	-	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	-	19.72 (6.46)	19.14 (4.99)	20 (4.87)	20 (2.55)	-	-	-	-
t_c	25.54 (1.32)	29.87 (1.24)	29.87 (1.43)	31 (1.59)	25.43 (7.56)	29.87 (4.86)	29.87 (2.67)	30.87 (1.46)	25.87 (7.78)	28.97 (7.76)	29.98 (7.35)	29.67 (7.87)
f_o	165.74 (4.54)	164.87 (15.86)	152.81 (10.9)	144.44 (12.10)	178.09 (14.76)	166.53 (4.16)	160.01 (19.62)	169.37 (24.08)	180.7 (33.83)	194.36 (28.8)	177.52 (22.65)	169.77 (28.86)
a	0.0001	0.00003	0.0001	0.00002	0.00007	0.0003	0.0003	0.00002	0.0009	0.0007	0.0009	0.00008
b	0.99**	0.93**	0.98*	0.98**	0.93*	0.9*	0.97*	0.93**	0.8	0.84	0.8	0.96**
R^2Adj	0.99	0.85	0.92	0.87	0.81	0.69	0.83	0.88	0.52	0.56	0.64	0.69
RMSE	0.0004	0.0009	0.0005	0.009	0.0007	0.006	0.0007	0.0089	0.01	0.009	0.009	0.009
CV %	3.11	7.84	4.84	8.66	7.85	15.87	9.54	8.93	33.76	22.65	21.76	26.93

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

دما به دلیل اثرگذاری بر خواب بذر قادر است سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را تحت تأثیر قرار دهد (بردفورد[1]، ۲۰۰۲). فورسلا[2] و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کرد که یکی از مهم‌ترین اتفاقاتی که موفقیت یا شکست گیاهان یک‌ساله را در افزایش جمعیت در بوم نظام‌های کشاورزی تعیین می‌نماید زمان جوانه‌زنی است. در آزمایشی که روی سه گونه از گیاهان دارویی توسط قادری‌فر و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد، مشخص گردید که مناسب‌ترین مدل با توجه به گونه گیاهی برای هر گونه گیاهی متفاوت است. همچنین برخی از محققین از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی جهت برآورد دماهای کاردینال برخی از گیاهان استفاده کردند و جهت تعیین مناسب‌ترین مدل از RMSE، CV و شاخص آکائیک (AICc) استفاده نمودند (درخشان و همکاران، ۲۰۱۳؛ کامکار و همکاران، ۲۰۱۱).

اثر پرایمینگ بذر پنبه[3] در واکنش به دما توسط اکرم قادری‌فر و همکاران (۲۰۰۸) بررسی شده است. نتایج حاصل شده از آن تحقیق نشان داد که با استفاده از پرایمینگ شکل منحنی دمایی از تابع دوتکه‌ای به تابع دندان مانند تغییر کرد. همچنین پرایمینگ توانست سبب کاهش حدود یک درجه سلسیوس دمای پایه جوانه‌زنی و همچنین سبب افزایش دمای سقف پنبه شد. در مطالعه‌ای دیگر کرمی (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا واکنش جوانه‌زنی بذر ذرت به دما و پرایمینگ را کمی‌سازی نمودند. ایشان بیان داشت که دمای پایه ذرت با استفاده از تیمار پرایمینگ کاهش یافت. نیکومرام و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای روی کلزا نشان دادند که دمای پایه کلزا با استفاده از تیمار پرایمینگ کاهش یافت ولی تاثیری بر دمای سقف نداشت. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص نمود که دماهای پایه، مطلوب و سقف بذر کاملینا تحت تاثیر تیمار پرایمینگ بذر قرار گرفت ولی تاثیر پرایمینگ بر دمای پایه و سقف بیشتر بود. در برخی موارد استفاده از تیمار پرایمینگ سبب تغییر دامنه دمای مطلوب بذر کاملینا در شرایط تنش شوری و بدون تنش گردید که نشان دهنده افزایش دامنه دمای مطلوب با استفاده از تیمار پرایمینگ در این گیاه بوده است. در این رابطه نیکومرام و همکاران (۲۰۲۰) روی کلزا نشان دادند که استفاده از تیمار پرایمینگ سبب تغییر در شکل منحنی مدل‌ها شده و دامنه دمای مطلوب جهت جوانه‌زنی را افزایش داده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا حد مطلوب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بعد از آن روندی کاهشی را نشان داد، در شرایط بدون تنش تیمار پرایمینگ بر دمای پایه تاثیری نداشت، ولی با افزایش شدت تنش دمای پایه روندی افزایشی را نشان داد و استفاده از تیمار پرایمینگ دمای پایه را کاهش داد. پرایمینگ محدوده دمایی مطلوب را در بذرهای کاملینا نسبت به بذرهای بدون پرایم افزایش داد و سبب کاهش تعداد ساعات زیستی شد که نشان دهنده اثر مثبت تیمارهای پرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی بود. با توجه به پارامترهای RMSE، CV و نمودار خط یک به یک، مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال کاملینا، مدل‌های دوتکه‌ای و دندان مانند بود. در نهایت نتایج نشان داد که استفاده از تیمار پرایمینگ براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر از نتایج مطلوب‌تری برخوردار بود و استفاده از این تیمار جهت مقابله با تنش شوری مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد. بنابراین با استفاده از تیمارهای براسینواستروئید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و مدل دندان مانند و دوتکه‌ای می‌توان جوانه‌زنی بذر کاملینا تحت شرایط تنش شوری را بررسی و ارزیابی نمود.

[1] Bradford
[2] Forcella
[3] *Gossypium spp.*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: شهرزاد قابلی، تهیه گزارش پژوهش: شهرزاد قابلی و حمیدرضا ابراهیمی، تحلیل داده‌ها: حمیدرضا ابراهیمی، برمک جعفری حقیقی، عبدالرضا جعفری و حمیدرضا میری

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ کمک مالی مشخصی از سازمان‌های تأمین‌کننده‌ی بودجه در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، ایران، به‌خاطر فراهم‌آوردن امکانات تحقیقاتی و پشتیبانی فنی در طول اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

Abbasi Bidli, M., & Abdali Mashhadi, A. (2017). Effect of priming on germination characteristics and growth of the *Vigna radiata* (Shushtar ecotype) seeding under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *4*(1), 75-88. (In Persian) https://doi.org/10.22124/jms.2017.2249

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

Akramghaderi, F., Soltani, A., & Sadeghipour, H.R. (2008). Cardinal temperature of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. subsp. pepo. Convar. pepo var. styriaca Greb), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). *Asian Journal of Plant Science*, *7*, 574-578. https://doi.org/10.3923/ajps.2008.574.578

Alvarado, V., & Bradford, K.J. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. *Plant Cell & Environment*, *25*, 1061-1069. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x

Ansari, O., & Sharif-Zadeh, F. (2012). Does Gibberelic 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.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

Ansari, O., Gherekhloo, J., Ghaderi-Far, F., & Kamkar, B. (2018). Effect of osmotic potential on germination cardinal temperatures of tall mallow (*Malva sylvestris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(2), 341-352. (In Persian) https://doi.org/10.22077/escs.2017.492.1096

Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B., & 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., & Foolad, M.R. (2005). Pre-sowing seed treatment- a shotgun approach to improve germination growth and crop yield under saline and none-saline condition. *Advance Agronomy*, *88*, 223-271. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88006-X

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Vahabinia, F., & Gholamhossieni, M. (2020). Quantification of the effect of environmental factors on seed germination and seedling growth of Eruca (*Eruca sativa*) using mathematical models. *Journal of Plant Growth Regulation*, *39*, 190–204. https://doi.org/10.1007/s00344-019-09974-1

Bayram, M., Homaee, M., & Mokhtasibidgoli, A. (2021). Quantitative assessment of camelina (*Camelina sativa* L.) response to salinity at early growth stage. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(12), 2985-3000. (In Persian) https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.335338.669154

Belmehdi, O., El Harsal, A., Benmoussi, M., Laghmouchi, Y., Senhaji, N.S., & Abrini, J. (2018). Effect of light, temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum elongatum* (Bonnet) Emb and Maire. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *16*, 126–131. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.07.032

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., & Cermak, S. (2016). Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Production*, 94, 690–710. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.034

Bradford, K. J. (2002). Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, *50*(2), 248-260. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]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.

Chen, C., Bekkerman, A., Afshar, R.K., & Neill, K. (2015). Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa*. *Industrial Crops and Production*, *71*, 114–121. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.065

Chen, K., & 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., Dürr, C., Roger-Estrade, J., & Caneill, J. (2005). How to model the effects of farming practices on weed emergence. *Weed Research*, *45*, 2–17. https://doi.org/10.1111/J.1365-3180.2004.00428.X

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, R. B., & De Prado, R. (2013). Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science, 62*, 250-257. https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00055.1

Dumur, D., Pilbeam, C.J., & 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

Forcella, F., Benech Arnold, R. L., & Sanchez, R. (2000). Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67, 123-139. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00088-5

Ghaderi-Far, F., Soltani, A., & 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), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. *Journal of Plant Production*, *16*(4), 1-9. (In Persian)

Grieve, C.M., Lesch, S., Francois, L.E., & Maas, E.W. (1992). Analysis of main-spike yield components in salt-stressed wheat. *Crop Science*, 32, 697-703. https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200030025x

Hardegree, S. P. (2006). Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany*, *97*, 1115-1125. https://doi.org/10.1093/aob/mcl071

Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B., Ziska, L., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agronomy Journal*, *103*, 351–370. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303

Heidari, Z., Kamkar, B., & Masoud Sinaki, J. (2014). Determination of cardinal temperatures of Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) germination. *Advances in Plants & Agriculture Research*, *1*(5), 1-7. https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00027

Hendawy, S.F., El-Gohary, A.E., & Hussein, M.S. (2019). Evaluation of camelina (*Camelina sativa* L.) productivity grown in different locations under Egyptian conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *8*, 883–888.

Hosseini Sanehkoori, F., Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Abdellaoui, R., Boughalleb, F., & Gholamhosseini, M. (2023). Quantification of camelina germination niche to combined salinity and temperature stresses using a halothermal time model. *Botany*, *101*, 88-97. https://doi.org/10.1139/cjb-2022-0072

Ibrahim, E. A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology*, *15*(192), 38-46. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011

Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A., & 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*, 192-198. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

Karami, H. (2016). An alternative model to quantifying corn seed germination to temperature and water potential [Master's thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources].

Klińska, S., Jasieniecka-Gazarkiewicz, K., & Banaś, A. (2019). Acyl-CoA: lysophosphatidylcholine acyltransferases (LPCATs) of *Camelina sativa* seeds: biochemical properties and function. *Planta*, *250*, 1655–1670. https://doi.org/10.1007/s00425-019-03248-6

Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Tworkowski, J., Puttick, D., Eynck, C., Załuski, D., & Kwiatkowski, J. (2019). Yield and seed composition of 10 spring camelina genotypes cultivated in the temperate climate of Central Europe. *Industrial Crops and Production*, *138*, 111443. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.006

Miyashita, H., & Fujita, K. (2019). Improvement of *Camelina sativa* yield using a plant growth-promoting rhizobacterium. *Soil Science and Plant Nutrition*, *65*, 566–569. https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1673134

Na, G., Aryal, N., Fatihi, A., Kang, J., & Lu, C. (2018). Seed-specific suppression of ADP-glucose pyrophosphorylase in Camelina sativa increases seed size and weight. *Biotechnology for Biofuels*, *11*, 330. https://doi.org/10.1186/s13068-018-1334-2

Nezafat, M.H., Naderi, R., Taghvaei, M., Edalat, M., Tahmasebi, A., & Egan, T.P. (2025). Modeling germination dynamics and drought stress tolerance in sorghum genotypes: Role of priming and hydrotime analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *56*(16), 2443-2458. https://doi.org/10.1080/00103624.2025.2514164

Nikoumaram, S., Bayateian, N., & Ansari, O. (2020). Quantification of the priming effect of canola (*Brassica napus* cv. Zafar) response to temperature using nonlinear regression models. *Iranian Journal of Seed Research*, *6*(2), 111-123. (In Persian) http://dx.doi.org/10.29252/yujs.6.2.111

Nonogaki, H., Bassel, G.W. & Bewley, J.D. (2010). Germination-still a mystery. *Plant Science*, *179*(6), 574–581. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010

Oliveira, G.M., Silva, F.F.S., Nascimento Araujo, M., Costa, D.C.C., Gomes, S.E.V., Matias, J.R., Angelotti, F., Cruz, C.R.P., Seal, C.E., & Dantas, B.F. (2019). Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. *Journal of Seed Science*, *41*, 32-43. https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1191945

Patade, V. Y., Maya, K., & 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.

Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., & 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

Popa, A.-L., Jurcoane, S., & Dumitriu, B. (2017). Camelina sativa oil-a review. *Scientific Bulletin Series F: Biotechnologies*, *21*, 233–238.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]

Saha, D., Choyal, P., Nandan, U., Dey, P., Bose, B., Kumar, N., Kumar, B., Kumar, P., Pandey, S., Chauhan, J., & Kumar Singhal, R. (2022). Plant Stress in plants. *Plant Stress*, *4*, 100066. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066

Sarv, V., Trass, O., & Diosady, L.L. (2017). Preparation and characterization of *Camelina sativa* protein isolates and mucilage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *94*, 1279–1285. https://doi.org/10.1007/s11746-017-3031-x

Shafii, 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

Soltani, A., Gholipoor, M., & 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

Vaughan, M.M., Block, A., Christensen, S.A., Allen, L.H., & Schmelz, E.A. (2018). The effects of climate change associated abiotic stresses on maize phytochemical defenses. *Photochemistry Reviews*, *17*, 37-49. https://doi.org/10.1007/s11101-017-9508-2

Wang, J., Ferrell, J., MacDonald, G., & Sellers, B. (2009). Factors affecting seed germination of Cadillo (*Urena lobata*). *Weed Science*, *57*, 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., & Zhang, H. (2009). Factors affecting Buffalobur (*Solanum rostratum*) seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, *57*, 521-525. https://doi.org/10.1614/WE-09-054.1

Wu, X., Li, J., Xu, H., & 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

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.2.223]