Iranian Journal of Seed Research

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

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

# The Impact of Temperature and Osmotic Stress on Germination and Seedling Growth of Two Rapeseed (*Brassica napus*) Cultivars

**Yasin Mohammadi** [1], **Farzad Sharifzadeh** [2✉], and **Nasser Majnoun Hosseini** [3]

1. Ph.D. Student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mohammadi.yasin@ut.ac.ir

2. Corresponding author, Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: sharifz@ut.ac.ir

3. Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mhoseini@ut.ac.ir

## Article Info

**Article type:**

Research Article

**Article history:**

Received: 15 December 2025
Revised: 17 March 2026
Accepted: 25 March 2026

***Keywords***:

Base temperature
Germination percentage
Nonlinear modeling
Salinity stress
Seedling establishment

## ABSTRACT

**Objective**: This study aimed to evaluate the germination response of two rapeseed (*Brassica napus*) cultivars to temperature and osmotic stress and to estimate their cardinal temperatures.

**Method**: The combined effects of five temperature regimes (5, 10, 15, 20, and 25°C) and four osmotic stress levels (0, −4, −8, and −12 bars) on germination of two cultivars (Hyola 4815 and Hyola 50) were investigated in a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. Germination percentage, normal seedling percentage, and seedling length were measured daily. Three non-linear models (Segmented, Dent-like, and Modified Beta) were applied to estimate base, optimum, and ceiling temperatures, and their fit was evaluated using $R^2$, RMSE, and AIC.

**Results**: Increasing osmotic stress and decreasing temperature significantly reduced germination and seedling growth. At 5°C (without stress), Hyola 4815 seeds did not germinate, while Hyola 50 seeds germinated. Under non-stress conditions at 20°C, Hyola 50 had 92% germination and a seedling length of 115 mm, and Hyola 4815 had 82% germination and a seedling length of 85 mm. At 20°C and osmotic levels of 0 to -8 bar, the germination and growth of Hyola 50 were significantly superior, while at 10°C none of the cultivars produced normal seedlings. Based on statistical indices, the dent-like model with the highest $R^2$, lowest RMSE, and lowest AIC had the best fit and the highest accuracy in both cultivars.

**Conclusions**: These findings indicate that the Hyola 50 cultivar exhibits superior performance due to more favorable genetic characteristics and a higher capacity to tolerate osmotic and thermal stresses. Based on these results, the dent-like model showed the best ability to describe the relationship between temperature and germination rate in both rapeseed cultivars, providing a more accurate estimation of germination thermal behavior. Furthermore, the modeling results revealed that Hyola 50 has a lower base temperature and a wider optimal temperature range compared with Hyola 4815, indicating greater adaptability of this cultivar to variable thermal conditions.

**Cite this article:** Mohammadi, Y., Sharifzadeh, F., & Majnoun Hosseini, N. (2026). The impact of temperature and osmotic stress on germination and seedling growth of two rapeseed (*Brassica napus*) cultivars. *Iranian Journal of Seed Research*, *13* (1), 27-46. http://doi.org/10.66224/yujs.13.1.27

© The Author(s).

**Publisher**: Yasouj University.

**DOI**: 10.66224/yujs.13.1.27

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

## Highlights:

- Hyola 50 showed higher tolerance to osmotic and thermal stresses than Hyola 4815.
- Low temperature (10 °C) severely limited germination at all osmotic levels.
- The dent-like model best described temperature–germination rate relationships in both rapeseed cultivars.

## Introduction

The increasing demand for vegetable oils and renewable energy resources has led to growing interest in the expansion of rapeseed cultivation as an economically valuable and strategic crop. Climate change, declining freshwater resources, and the expansion of saline lands have imposed new limitations on the sustainable production of this crop. An increase in salt concentration in the growing environment reduces the soil osmotic potential, restricts water uptake, and induces ionic toxicity in plants (Bybordi, 2010). These conditions are particularly important during the germination stage, when seeds depend on water uptake to initiate metabolic activities. Recent studies have shown that salinity-induced osmotic stress can significantly reduce germination percentage and rate by decreasing the activity of enzymes involved in germination, increasing the production of reactive oxygen species, and disrupting cell division and growth (Khan et al., 2014; Zhang et al., 2022).

In addition to salinity-induced osmotic stress, temperature is one of the most important environmental factors determining the success of seed germination and seedling establishment. Given the critical role of the germination stage in determining plant density and the final yield of rapeseed, understanding the response of rapeseed seeds to combinations of osmotic stress and temperature is of great importance. Investigating the simultaneous effects of these two factors on the germination characteristics of different rapeseed cultivars can provide valuable information for the selection of stress-tolerant cultivars and for improving crop establishment under adverse environmental conditions. However, limited information is available on the combined effects of osmotic stress and temperature on the germination and thermal response of different rapeseed cultivars.

Therefore, this study aimed to (i) investigate the combined effects of osmotic stress and temperature on the germination and early growth of two rapeseed cultivars (Hyola 4815 and Hyola 50), (ii) estimate and compare their cardinal temperatures using non-linear regression models, and (iii) identify the most tolerant cultivar for cultivation in saline and cold regions. The findings can contribute to the development of optimized cultivation strategies in areas with specific environmental conditions.

## Materials and Methods

### *Plant material and experimental site*

This study was conducted at the Seed Laboratory of the Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran, Karaj, Iran. Seeds of two rapeseed cultivars (Hyola 4815 and Hyola 50) were obtained from the Khuzestan Agricultural Research Center and stored at 15°C until the experiment.

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

### *Experimental design and treatments*

A three-factor factorial experiment based on a completely randomized design (CRD) with three replications was conducted. The factors were cultivar (Hyola 4815 and Hyola 50), osmotic stress level (0, −4, −8, and −12 bars), and temperature regime (5, 10, 15, 20, and 25°C). A total of 120 Petri dishes were used.

### *Osmotic stress imposition and germination assessment*

Seeds were surface-sterilized with 1% sodium hypochlorite for 10 min, rinsed with distilled water, and air-dried. NaCl solutions were used to impose osmotic stress, and their osmotic potentials were calculated using the van't Hoff equation ($\Psi s = -MIRT$) and verified with an EC meter. Fifty seeds were placed in each 9-cm glass Petri dish with 5 mL of the corresponding solution (no filter paper). The experiment lasted 7 days in separate germinators under controlled conditions, and germination (radicle emergence ≥ 2 mm) was recorded daily. At the end, germination percentage, normal seedling percentage, and seedling length (10 seedlings per dish) were measured.

### *Statistical analysis*

ANOVA was performed, and means were compared using Duncan's multiple range test at 5%. Non-linear regression models (Segmented, Dent-like, and Modified Beta) were used to determine cardinal temperatures (base, optimum, and ceiling) based on germination rate. Model fit was evaluated using $R^2$, RMSE, and AIC. Analyses were performed in SAS 9.4 (PROC NLIN), and figures were drawn in Excel 2013.

## Results and Discussion

### *Effect of temperature on germination and seedling growth*

The two cultivars responded differently to temperature (Figure 1). At 5°C, Hyola 50 maintained some germination, whereas Hyola 4815 failed to germinate, suggesting that Hyola 50 can activate key enzymes such as amylase and protease even under cold conditions. At 10 °C, Hyola 50 performed better than Hyola 4815 (56% vs. 42%). At 15°C, Hyola 4815 exceeded 80% germination, whereas Hyola 50 was below 80%, indicating that Hyola 4815 requires relatively higher temperatures for full enzyme activation. At 20°C, Hyola 50 showed its best performance (82%), while Hyola 4815 remained below 80%. At 25°C, both cultivars showed reduced germination, likely due to limited enzyme activity and thermal stress. These differences are likely related to genetic differences in stress tolerance.

### *Effect of osmotic stress on germination and seedling growth*

Osmotic stress significantly reduced germination and seedling growth. Under non-stress conditions (0 bar), Hyola 50 showed 92% germination (Figure 2) and 115 mm seedling length (Figure 3). With increasing osmotic stress to −4, −8, and −12 bars, a marked reduction was observed. At −8 bar, Hyola 50 showed a reduction in seedling length to 33 mm, whereas Hyola 4815 showed no germination or growth at −8 and −12 bars. These results are consistent with

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

studies showing that high osmotic stress reduces water potential and disrupts germination processes (Kandil et al., 2012; Jamil et al., 2005; Fazeli-Nasab et al., 2023). The accumulation of $Na^+$ and $Cl^-$ causes ionic toxicity, disrupting osmotic regulation and enzyme activity (Moradi & Piri, 2018), ultimately affecting seedling growth (Tunçtürk et al., 2011). Hyola 50 likely possesses specific genetic characteristics, such as ion exclusion and osmotic adjustment, that allow it to be more tolerant to osmotic stress (Liu et al., 2019).

***Comparison of the two cultivars under combined temperature and osmotic stress***

At 10°C and osmotic levels of 0 and −4 bar, Hyola 50 had significantly higher germination percentage than Hyola 4815. At 20°C and osmotic levels of 0, −4, and −8 bar, Hyola 50 was also significantly superior; however, at −12 bar, it could not maintain its superiority (Figure 4). At 10°C, neither cultivar produced normal seedlings (Figure 5) or seedling length (Figure 6) at any osmotic level. In contrast, at 20°C and osmotic levels of 0, −4, and −8 bar, Hyola 50 produced significantly higher normal seedling percentage and seedling length. These results indicate that Hyola 50 performed better under harsher conditions, which may be related to its more tolerant genetic characteristics (Munns & Tester, 2008). In contrast, Hyola 4815 is highly sensitive to temperature and osmotic stresses, suggesting that it may lack effective genetic mechanisms for coping with harsh conditions (Qasim et al., 2003; Safdar et al., 2019).

***Non-linear modeling of the temperature–germination rate relationship***

Non-linear regression models (Segmented, Dent-like, and Modified Beta) were able to describe the relationship between temperature and germination rate (Figures 7–9). Based on statistical criteria, the Dent-like model provided the best fit for both cultivars, with the highest $R^2$ (0.91 for Hyola 4815 and 0.97 for Hyola 50), the lowest RMSE (1.57 and 1.12, respectively), and the lowest AIC (59.95 and 56.68, respectively) (Table 1). The highest germination rate was observed within the optimal temperature range, and germination rate decreased significantly with deviation from this range.

Hyola 50 had a lower base temperature (Tb = 4.8°C) and a wider optimal temperature range (20–30.1°C) compared with Hyola 4815 (Tb = 6.2°C; To = 20–28°C). The lower base temperature indicates the ability of this cultivar to initiate germination at lower temperatures, and the wider optimal range indicates greater stability under fluctuating temperatures. These findings are consistent with previous studies (Balouchi et al., 2023; Ghabeli et al., 2025; Piri et al., 2024) and confirm that deviation from the optimal temperature significantly reduces germination rate. Therefore, selecting the appropriate cultivar and managing planting time based on temperature data can improve rapeseed establishment under different climatic conditions.

***Limitations and future perspectives***

This study was conducted under controlled laboratory conditions; therefore, field trials are needed to validate these findings. Future studies could focus on identifying stress-tolerance

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

genes and applying breeding techniques, such as gene editing, to enhance tolerance to environmental stresses.

## Conclusions

This study showed that Hyola 50 performed better under thermal and osmotic stress conditions, with 92% germination and 115 mm seedling length under non-stress conditions, 82% germination at 20°C, and significantly higher germination and normal seedling percentage than Hyola 4815 at 20°C and osmotic levels of 0 to −8 bar, whereas Hyola 4815 was highly sensitive and failed to germinate at 5°C and at −8 and −12 bar; these differences indicate that Hyola 50 has more favorable genetic characteristics and a higher capacity to tolerate thermal and osmotic stresses, making it more suitable for cultivation in saline and cold regions. The Dent-like model best described the temperature–germination rate relationship in both cultivars, and Hyola 50 had a lower base temperature (Tb = 4.8 °C) and a wider optimal temperature range (20–30.1°C) than Hyola 4815 (Tb = 6.2°C; To = 20–28°C), indicating greater adaptability to variable thermal conditions. These findings can help select appropriate cultivars and optimize planting time based on regional temperature data, and future studies could focus on identifying stress-tolerance genes and applying breeding techniques, such as gene editing, to enhance tolerance to environmental stresses.

### *Author Contributions*

Conceptualization, F.S. and N.M.H.; methodology, Y.M., F.S., and N.M.H.; formal analysis, Y.M.; investigation, Y.M.; resources, F.S. and N.M.H.; data curation, Y.M.; writing—original draft preparation, Y.M.; writing—review and editing, Y.M., F.S., and N.M.H.; visualization, Y.M.; supervision, F.S. and N.M.H.; project administration, F.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### *Data Availability Statement*

The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

### *Acknowledgements*

The authors would like to express their sincere gratitude to the Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, College of Agricultural and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, for providing the research facilities and technical support. The authors also thank the Khuzestan Agricultural Research Center for supplying the rapeseed seeds used in this study. This research was conducted as part of the Ph.D. dissertation of the first author.

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

***Ethical Considerations***

This study did not involve human participants or animals. The authors adhered to the principles of research integrity, avoiding data fabrication, falsification, plagiarism, and any form of research misconduct.

***Funding***

This study was supported by the University of Tehran, Karaj, Iran, as part of the Ph.D. dissertation of the first author. No specific grant was received from any other funding agency.

***Conflict of Interest***

The authors declare no conflict of interest.

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

پژوهش‌های بذر ایران

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

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

# اثر دما و تنش اسمزی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دو رقم کلزا (*Brassica napus*)

یاسین محمدی [۱]، فرزاد شریف زاده [۲]✉، و ناصر مجنون حسینی [۳]

۱. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mohammadi.yasin@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: sharifz@ut.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mhoseini@ut.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۴/۰۹/۲۴
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۱۲/۲۶
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۱/۰۵

**کلیدواژه‌ها:**
استقرار گیاهچه
تنش شوری
درصد جوانه‌زنی
دمای پایه
مدل غیرخطی

**چکیده**

**هدف:** این پژوهش با هدف ارزیابی واکنش جوانه‌زنی دو رقم کلزا (*Brassica napus*) به دما و تنش اسمزی و برآورد دماهای کاردینال آن‌ها طراحی گردید.

**روش پژوهش:** اثرات ترکیبی پنج سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس) و چهار سطح تنش اسمزی (۰، ۴-، ۸- و ۱۲- بار) بر جوانه‌زنی دو رقم (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰) در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. درصد جوانه‌زنی، درصد گیاهچه‌های سالم و طول گیاهچه به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. سه مدل غیرخطی (دو تکه‌ای، دندانه‌ای و بتای تغییریافته) برای برآورد دماهای پایه، بهینه و سقف به کار گرفته شد و برازش آن‌ها با شاخص‌های $R^2$، RMSE و AIC ارزیابی گردید.

**یافته‌ها:** افزایش تنش اسمزی و کاهش دما به‌طور معنی‌داری جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را کاهش داد. در ۵ درجه سلسیوس (بدون تنش)، بذر هایولا ۴۸۱۵ جوانه نزد، در حالی که بذر هایولا ۵۰ جوانه زد. در شرایط بدون تنش و دمای ۲۰ درجه سلسیوس، هایولا ۵۰ جوانه‌زنی ۹۲ درصد و طول گیاهچه ۱۱۵ میلی‌متری و هایولا ۴۸۱۵ جوانه‌زنی ۸۲ درصد و طول گیاهچه ۸۵ میلی‌متری داشت. در ۲۰ درجه سلسیوس و سطوح اسمزی ۰ تا ۸- بار، جوانه‌زنی و رشد هایولا ۵۰ به‌طور معنی‌داری برتری داشت، در حالی که در ۱۰ درجه سلسیوس هیچ‌یک از ارقام گیاهچه طبیعی تولید نکردند. بر اساس شاخص‌های آماری، مدل دندان‌مانند با بالاترین $R^2$، کمترین RMSE و پایین‌ترین AIC، بهترین برازش و بالاترین دقت را در هر دو رقم داشت.

**نتیجه‌گیری:** این یافته‌ها نشان می‌دهند که رقم هایولا ۵۰ به‌دلیل ویژگی‌های ژنتیکی مطلوب‌تر و ظرفیت بالاتر تحمل تنش‌های اسمزی و حرارتی، عملکرد بهتری دارد. بر اساس این نتایج، مدل دندان‌مانند بهترین توانایی را در توصیف رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی در هر دو رقم کلزا نشان داد و برآورد دقیق‌تری از رفتار حرارتی جوانه‌زنی ارائه کرد. همچنین نتایج مدل‌سازی نشان داد که هایولا ۵۰ دارای دمای پایه پایین‌تر و دامنه دمایی مطلوب گسترده‌تری نسبت به هایولا ۴۸۱۵ است، که بیانگر سازگاری بیشتر این رقم با شرایط دمایی متغیر است.

### جنبه‌های نوآوری

- رقم هایولا ۵۰ تحمل بالاتری به تنش‌های اسمزی و حرارتی نسبت به هایولا ۴۸۱۵ نشان داد.
- دمای پایین (۱۰ درجه سلسیوس) جوانه‌زنی را در تمامی سطوح اسمزی به‌شدت محدود کرد.
- مدل دندان‌مانند بهترین توصیف رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی را در دو رقم کلزا ارائه داد.

**استناد:** محمدی، یاسین؛ شریف‌زاده، فرزاد؛ و مجنون حسینی، ناصر (۱۴۰۵). اثر دما و تنش اسمزی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دو رقم کلزا (*Brassica napus*). *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۳ (۱)، ۴۶-۲۷. http://doi.org/10.66224/yujs.13.1.27

**ناشر:** دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.



[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

**مقدمه**

کلزا (*Brassica napus* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی جهان شناخته می‌شود و نقش مهمی در تأمین روغن‌های خوراکی، صنعتی و تولید سوخت‌های زیستی دارد (بایبوردی[1]، ۲۰۱۰). این گیاه به دلیل سازگاری نسبی با شرایط متنوع محیطی، از جمله مقاومت نسبی به دماهای پایین و تنش شوری، در بسیاری از مناطق سردسیر و خشک جهان کشت می‌شود (کاندیل[2] و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش تقاضا برای روغن‌های گیاهی و منابع انرژی تجدیدپذیر موجب شده است که توسعه تولید کلزا به‌عنوان یک محصول اقتصادی و راهبردی مورد توجه قرار گیرد. با این حال، تغییرات اقلیمی، کاهش منابع آب شیرین و افزایش سطح اراضی شور، محدودیت‌های جدیدی را برای تولید پایدار این گیاه ایجاد کرده است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که شوری خاک یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد کلزا در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و به دلیل تأثیر همزمان بر تعادل آب، جذب عناصر غذایی و فرآیندهای متابولیکی، در مراحل اولیه رشد اثرات شدیدی ایجاد می‌کند (سلیمان اولا[3] و همکاران، ۲۰۲۳).

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. افزایش غلظت نمک در محیط رشد باعث کاهش پتانسیل اسمزی خاک، محدود شدن جذب آب و ایجاد سمیت یونی در گیاه می‌شود (بایبوردی، ۲۰۱۰). این شرایط به‌ویژه در مرحله جوانه‌زنی که بذر برای آغاز فعالیت‌های متابولیکی به جذب آب وابسته است، اهمیت بیشتری دارد. تحقیقات جدید نشان داده‌اند که تنش اسمزی ناشی از شوری می‌تواند با کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و ایجاد اختلال در تقسیم و رشد سلولی، درصد و سرعت جوانه‌زنی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد (ناهید[4] و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، ریشه به‌عنوان نخستین اندام در تماس با محیط شور، بیشترین تأثیر را از کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های سدیم و کلر دریافت می‌کند و این موضوع باعث کاهش رشد ریشه و محدود شدن استقرار اولیه گیاه می‌شود (ژانگ[5] و همکاران، ۲۰۲۲)

علاوه بر تنش اسمزی، دما نیز یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی تعیین‌کننده موفقیت جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها است. فرآیندهای جوانه‌زنی تحت کنترل مستقیم واکنش‌های آنزیمی، سرعت تنفس و فعالیت‌های متابولیکی بذر قرار دارند و تغییرات دمایی خارج از محدوده مطلوب می‌تواند این فرآیندها را مختل کند (بلوچی[6] و همکاران، ۲۰۲۵). دماهای پایین موجب کاهش سرعت واکنش‌های متابولیکی و افزایش زمان جوانه‌زنی، در حالی که دماهای بالا می‌تواند باعث کاهش پایداری غشاهای سلولی و آسیب اکسیداتیو شود (پیری[7] و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که اثر متقابل دما و تنش اسمزی می‌تواند بسیار شدیدتر از اثر هر یک از این عوامل به‌تنهایی باشد و موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، افزایش زمان متوسط جوانه‌زنی و کاهش رشد اولیه گیاهچه شود (لانگ[8] و همکاران، ۲۰۲۳).

با توجه به اهمیت مرحله جوانه‌زنی در تعیین تراکم بوته و عملکرد نهایی کلزا، شناخت پاسخ بذرهای این گیاه به ترکیب عوامل تنش‌زای محیطی مانند شوری و دما اهمیت زیادی دارد. همچنین، استفاده از روش‌هایی مانند تیمارهای پرایمینگ، کاربرد مواد تنظیم‌کننده اسمزی و استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد به‌عنوان راهکارهایی برای افزایش تحمل بذرها در شرایط تنش مورد توجه قرار گرفته‌اند (الثابت[9] و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین، بررسی اثر همزمان تنش اسمزی و دما بر ویژگی‌های جوانه‌زنی ارقام مختلف کلزا می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای انتخاب ارقام متحمل و بهبود استقرار گیاه در شرایط نامساعد محیطی فراهم کند.

این پژوهش به‌دنبال بررسی اثرات همزمان تنش اسمزی و دما بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه کلزا است. با توجه به اهمیت این دو عامل محیطی، نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای کشاورزان و محققان فراهم آورد. شناسایی ارقام مقاوم به تنش اسمزی و دما و بررسی

[1] Bybordi
[2] Kandil
[3] Sulaiman, Ullah
[4] Naheed
[5] Zhang
[6] Balouchi
[7] Piri
[8] Long
[9] Al-Thabet

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

واکنش‌های آن‌ها به این تنش‌ها، می‌تواند به توسعه راهبردهای کشت بهینه در مناطق با شرایط خاص مانند مناطق شور و سرد کمک کند. برخی مطالعات پیشین نشان داده‌اند که ارقام خاصی از کلزا نسبت به تنش اسمزی و دما مقاوم‌تر از سایر ارقام هستند و می‌توانند در شرایط سخت‌تری رشد کنند. به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت‌های منابع آبی و تغییرات اقلیمی روبه‌رو هستند، کشت این ارقام مقاوم می‌تواند به افزایش بهره‌وری و پایداری کشاورزی کمک کند (صفدر[1] و همکاران، ۲۰۱۹).

در نهایت، این پژوهش می‌تواند به کشاورزان در انتخاب ارقام مناسب برای کشت در شرایط خاص، مانند زمین‌های شور یا مناطق سرد کمک کند. همچنین، نتایج این تحقیق می‌توانند به سیاست‌گذاران در تدوین راهکارهای کشاورزی برای مقابله با چالش‌های تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات تنش‌های محیطی کمک کنند.

## مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش بررسی تأثیر دما و تنش اسمزی بر فرآیند جوانه‌زنی و رشد اولیه دو رقم کلزا، شامل هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰ بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با سه تکرار در آزمایشگاه بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج انجام شد. انتخاب ارقام بر اساس تفاوت‌های ژنتیکی آن‌ها در پاسخ به تنش‌های محیطی صورت گرفت.

بذرهای مورد استفاده از مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان تأمین شدند و تا زمان اجرای آزمایش در شرایط استاندارد و در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا خصوصیات فیزیولوژیک و قابلیت جوانه‌زنی آن‌ها حفظ شود. برای کاهش آلودگی‌های احتمالی قارچی و باکتریایی، بذرها پیش از اجرا با محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد و به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی شدند. سپس بذرها چندین بار با آب مقطر شسته و در دمای محیط خشک شدند تا اثر احتمالی مواد ضدعفونی‌کننده بر نتایج آزمایش به حداقل برسد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل دو سطح دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰) فاکتور دوم شامل چهار سطح تنش اسمزی (۰، ۴-، ۸- و ۱۲- بار) و فاکتور سوم شامل پنج سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس) بودند.

بذرها در پتری‌های شیشه‌ای با قطر ۹ سانتی‌متر کشت شدند و در هر پتری ۵۰ بذر به‌صورت تصادفی قرار گرفت. برای هر تیمار، ۵ میلی‌لیتر محلول اسمزی مربوطه اضافه شد. بذرها مستقیم روی پتری قرار گرفتند و کاغذ صافی استفاده نشد. تمامی تیمارها در ژرمیناتورهای مجزا و تحت شرایط کنترل شده نگهداری شدند. دوره آزمایش ۷ روز بود و جوانه‌زنی به‌صورت روزانه در ساعت ثابت شمارش شد. معیار جوانه‌زنی خروج حداقل ۲ میلی‌متر ریشه چه در نظر گرفته شد. در پایان دوره، طول گیاهچه‌ها برای ارزیابی رشد اولیه اندازه‌گیری شد.

برای اعمال تنش اسمزی از محلول کلرید سدیم استفاده شد که پتانسیل اسمزی آن بر اساس معادله وانت هوف در رابطه ۱ محاسبه گردید (ونت هوف[2]، ۱۸۸۷):

رابطه ۱: $\Psi_s = -MIRT$

که در آن: $\Psi s$: پتانسیل اسمزی محلول است (بار)؛ M: غلظت NaCl مولار؛ I: ضریب یونیزاسیون (برای NaCl = 2)؛ R: ثابت گاز (0.08314 bar. L/mol. K)؛ T: دمای آزمایش به کلوین (K).

مقادیر نهایی بر حسب بار محاسبه و پتانسیل اسمزی نهایی هر محلول با استفاده از دستگاه EC متر بررسی و تأیید گردید.

## شاخص‌های اندازه‌گیری

**درصد جوانه‌زنی**: تعداد بذرهای دارای ریشه‌چه حداقل ۲ میلی‌متری به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شد و درصد جوانه‌زنی با رابطه ۲ محاسبه گردید: (بیولی[3] و همکاران، ۲۰۱۳).

رابطه ۲: $\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذر جوانه زده}}{\text{تعداد بذر کشت شده}} \times ۱۰۰$

[1] Safdar
[2] Van 't Hoff
[3] Bewley

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

این رابطه به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات مرتبط با جوانه‌زنی بذرها استفاده می‌شود و می‌تواند نشان‌دهنده شرایط محیطی مناسب برای رشد بذرها باشد.

**درصد گیاهچه‌های طبیعی:** گیاهچه‌هایی که دارای ریشه‌چه و ساقه‌چه سالم و متناسب بودند، طبیعی محسوب شدند.

**طول گیاهچه:** برای این شاخص با استفاده از خط‌کش مدرج میلی‌میتری مقدار ۱۰ عدد گیاهچه به صورت تصادفی اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین دماهای اصلی (پایه، بهینه و بیشینه)، جوانه‌زنی ارقام کلزا از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای تجزیه و تحلیل رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دماهای مختلف استفاده شد. دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شد و از مدل دو تکه‌ای (رابطه ۳) (سلطانی[1] و همکاران، ۲۰۰۸)، مدل دندان‌مانند (رابطه ۴) (بلوچی و همکاران، ۲۰۲۳) و مدل بتای تغییر یافته (رابطه ۵) (بلوچی و همکاران، ۲۰۲۳) استفاده شد: برای دقت و برازش مدل‌ها، از مقادیر $R^2$ (ضریب تبیین)، RMSE (خطای جذر میانگین مربعات) و ضریب آیکائیک (AIC) استفاده شد (روابط ۶ تا ۸).

رابطه ۳:

$$y = \frac{\left(\frac{(T-T_b)}{(T_o-T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \quad T_b < T < T_o$$

$$y = \frac{\left(\frac{1-(T-T_b)}{(T_o-T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \quad T_o < T < T_C$$

$$y = 0 \rightarrow T \leq T_b \ \ldots \ or \ \ldots \ T \geq T_c$$

رابطه ۴:

$$y = \frac{\left(\frac{(T-T_b)}{(T_{o_1}-T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \rightarrow \ T_b < T < T_{o_1}$$

$$y = \frac{\left(\frac{(T_c-T)}{(T_c-T_{o_2})}\right)}{f_o} \rightarrow if \rightarrow \ T_{o_2} < T < T_C$$

$$y = \frac{1}{f_o} \rightarrow if \rightarrow T_{o_1} \leq T \leq T_{o_2}$$

$$y = 0 \rightarrow if \rightarrow T \leq T_b \ \ldots \ or \ \ldots \ T \geq T_c$$

رابطه ۵:

$$f(T) = \left\{\left[\left(\frac{(T-T_b)}{(T_o-T_b)}\right)\left(\frac{(T_c-T)}{(T_c-T_o)}\right)^{\left(T_c-T_o/T_o-T_b\right)}\right\}$$

$$\text{if } T \leq T_b \ \ or \ T \geq T_c$$

$$f(T) = 0 \qquad \text{if } T \leq T_b \ \ or \ T \geq T_c$$

رابطه ۶:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSG}$$

رابطه ۷:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(p-o)^2}{n-1}}$$

رابطه ۸:

$$AIC = n \times ln\,(SSR/n) + 2k$$

در این مدل‌ها، y سرعت جوانه‌زنی، T دمای آزمایش، $T_b$دمای پایه، $T_o$ دمای مطلوب و $T_c$ دمای سقف جوانه‌زنی، SSE و SSG به‌ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل هستند. P و O به‌ترتیب مقدار پیش‌بینی‌شده سرعت جوانه‌زنی با استفاده از مدل و مقدار مشاهده‌شده و n تعداد مشاهدات، SSR، مجموع مربعات باقی‌مانده؛ n، تعداد نمونه و K، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می‌باشد.

در این پژوهش تجزیه و برازش روابط ۳ تا ۵ با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. تحلیل داده‌ها و برازش مدل‌های رگرسیونی غیرخطی با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی (Nonlinear Least Squares, NLS) در قالب رویه PROC NLIN نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه مدل‌ها بر اساس شاخص‌های نیکویی

[1] Soltani

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

برازش شامل ضریب تبیین ($R^2$)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) صورت گرفت. رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار آفیس (اکسل ۲۰۱۳) صورت گرفت. برای بررسی معناداری اثرات اصلی و برهمکنش تنش اسمزی و دما، از تجزیه واریانس (ANOVA) استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (الیس و کاپلند[1]، ۲۰۰۱). این پژوهش با تمرکز بر شناسایی واکنش ارقام مختلف کلزا به تنش‌های محیطی تنش اسمزی و دما، به دنبال ارائه اطلاعات کاربردی برای انتخاب مناسب‌ترین شرایط کشت است. یافته‌های این مطالعه می‌توانند به کشاورزان در بهبود مدیریت زراعی و توسعه راهبردهای مؤثر برای مقابله با تنش‌های اسمزی و دمایی کمک کنند.

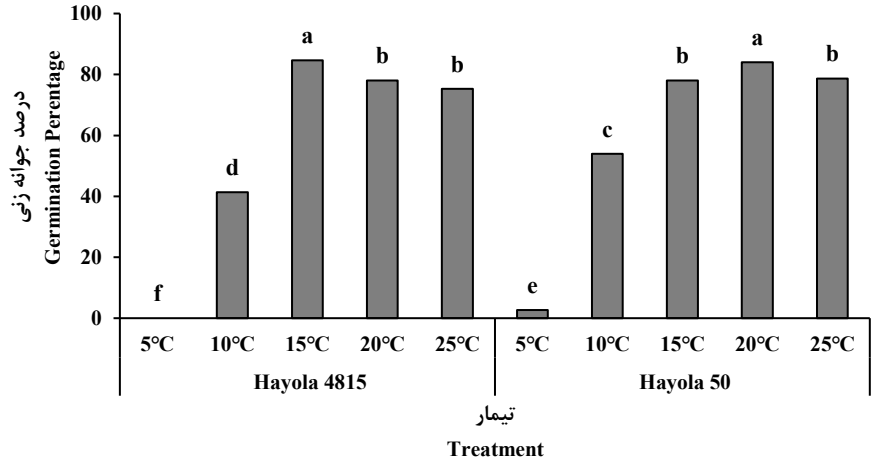
## نتایج و بحث

### اثر دما بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها

نتایج نشان داد که دو رقم هایولا ۵۰ و هایولا ۴۸۱۵ پاسخ‌های متفاوتی به دماهای مختلف نشان می‌دهند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اختلاف عملکرد دو رقم در دماهای پایین، متوسط و بالا می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی در توانایی فعال‌سازی آنزیم‌ها، مدیریت ذخایر غذایی دانه و تحمل تنش حرارتی باشد. در دمای بسیار پایین (۵ درجه سلسیوس)، هایولا ۵۰ درصدی از جوانه‌زنی را حفظ کرد، در حالی که هایولا ۴۸۱۵ هیچ جوانه‌زنی نداشت (شکل ۱). این یافته بیانگر آن است که هایولا ۵۰ قادر است حتی در دماهای سرد فعالیت حداقلی آنزیم‌های کلیدی مانند آمیلاز و پروتئاز را آغاز کند. این آنزیم‌ها مسئول هیدرولیز نشاسته و پروتئین دانه به قندها و اسیدهای آمینه قابل استفاده برای گیاهچه هستند. در مقابل، هایولا ۴۸۱۵ در این دما توانایی فعال‌سازی آنزیم‌ها را ندارد و به همین دلیل رشد گیاهچه متوقف می‌شود. همچنین دمای پایین باعث کاهش نفوذپذیری غشاهای سلولی و کاهش توانایی جذب آب و مواد مغذی می‌شود، که این امر محدودیت متابولیکی بیشتری برای هایولا ۴۸۱۵ ایجاد می‌کند. در دمای ۱۰ درجه سلسیوس، هایولا ۵۰ با ۵۶ درصد جوانه‌زنی عملکرد بهتری نسبت به هایولا ۴۸۱۵ (۴۲ درصد) نشان داد. در این دما، افزایش نسبی فعالیت آنزیم‌های متابولیک و افزایش نفوذپذیری غشاها باعث شد هایولا ۵۰ رشد بهتری داشته باشد. با این حال، هایولا ۴۸۱۵ هنوز به حد بهینه فعالیت آنزیمی نرسیده بود و جوانه‌زنی محدود باقی ماند. دمای ۱۵ درجه سلسیوس شرایط مناسبی برای هایولا ۴۸۱۵ ایجاد کرد؛ درصد جوانه‌زنی آن به بیش از ۸۰ درصد رسید، در حالی که هایولا ۵۰ کمتر از ۸۰ درصد جوانه‌زنی داشت. این نشان می‌دهد که هایولا ۴۸۱۵ برای فعال‌سازی کامل آنزیم‌ها و فرآیندهای متابولیکی به دماهای نسبتاً بالاتر نیاز دارد. در این دما، فعالیت آمیلاز و پروتئاز بهینه شده و ذخایر غذایی دانه به طور مؤثر به ترکیبات قابل استفاده برای رشد گیاهچه تبدیل می‌شوند، در حالی که هایولا ۵۰ احتمالاً در این محدوده دما شروع به کاهش نسبت به حداکثر توان خود کرده است (سلیمان اولا و همکاران، ۲۰۲۳). در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، هایولا ۵۰ بهترین عملکرد خود را نشان داد و درصد جوانه‌زنی به ۸۲ درصد رسید، در حالی که هایولا ۴۸۱۵ زیر ۸۰ درصد باقی ماند. این نشان می‌دهد که هایولا ۵۰ در دماهای پایین تا متوسط اولیه عملکرد پایدارتری دارد و قادر است فعالیت متابولیک و رشد گیاهچه را در این محدوده حفظ کند. در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، هر دو رقم کاهش در درصد جوانه‌زنی مشاهده گردید. این کاهش می‌تواند ناشی از محدود شدن فعالیت آنزیم‌ها به دلیل افزایش دما، افزایش تبخیر و کاهش توانایی جذب آب و مواد مغذی باشد که منجر به تنش حرارتی و کاهش رشد اولیه گیاهچه می‌شود (قابلی[2] و همکاران، ۲۰۲۵). دمای ۲۰ درجه سلسیوس شرایط مطلوبی برای فعالیت آنزیم‌هایی همچون آمیلاز و پروتئاز است که در هیدرولیز ذخایر غذایی دانه نقش دارند و این امر به رشد بهتر گیاهچه‌ها کمک می‌کند (صفدر و همکاران، ۲۰۱۹). دلیل تفاوت در عملکرد دو رقم در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس می‌تواند به تفاوت‌های ژنتیکی آن‌ها برگردد (بایبوردی و طباطبایی[3]، ۲۰۰۹).

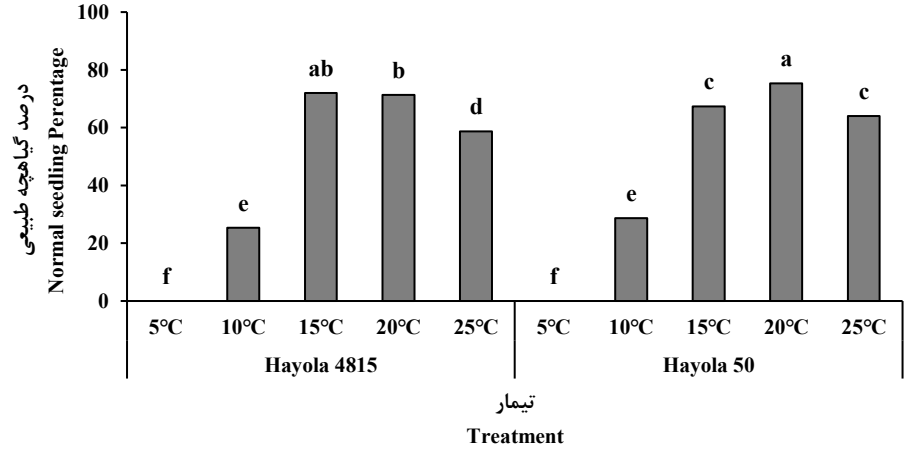
[1] Elias and Copeland
[2] Ghabeli
[3] Bybordi, & Tabatabaei

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]



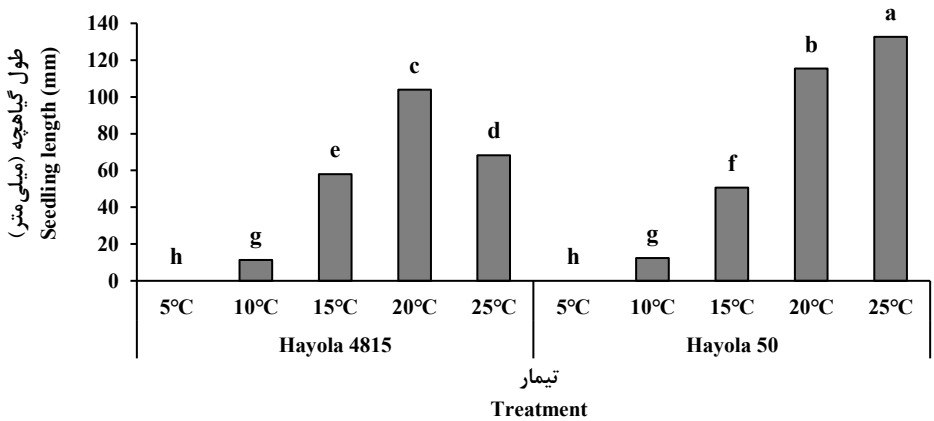

**شکل ۱**- مقایسه میانگین اثر تیمارهای دمایی بر درصد جوانه‌زنی بذر دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰).

**Figure 1.** Mean comparison of the effect of temperature treatments on germination percentage in two rapeseed cultivars.




**شکل ۲**- مقایسه میانگین اثر تیمارهای دمایی بر درصد گیاهچه طبیعی دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰).

**Figure 2.** Mean comparison of the effect of temperature treatments on normal seedling percentage in two rapeseed cultivars.




**شکل ۳**- مقایسه میانگین اثر تیمارهای دمایی بر طول گیاهچه بذر دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰).

**Figure 3.** Mean comparison of the effect of temperature treatments on seedling length in two rapeseed cultivars.

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

به نظر می‌رسد هایولا ۵۰ ویژگی‌های ژنتیکی بهتری در مقابله با دماهای متوسط داشته باشد (شکل ۱)، که منجر به رشد بهتر در این شرایط می‌شود (شادام[1] و همکاران، ۲۰۲۴). بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل‌های ۲ و ۳، پاسخ ارقام کلزا به تیمارهای دمایی متفاوت بود. در رقم هایولا ۵۰، بیشترین درصد گیاهچه طبیعی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد؛ در حالی که در رقم هایولا ۴۸۱۵، حداکثر این صفت در دمای ۱۵ درجه سلسیوس به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۲۰ درجه سلسیوس نداشت. از نظر طول گیاهچه نیز، رقم هایولا ۴۸۱۵ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین مقدار را نشان داد، اما در رقم هایولا ۵۰ طول گیاهچه با افزایش دما تا ۲۵ درجه سلسیوس به‌صورت خطی و صعودی افزایش یافت. در مقابل، تیمار دمایی ۵ درجه سلسیوس در هر دو رقم موجب توقف تقریباً کامل جوانه‌زنی و رشد گردید و تیمار ۲۵ درجه سلسیوس نیز در مقایسه با دماهای بهینه، کاهش معنی‌داری در درصد گیاهچه طبیعی ایجاد کرد.

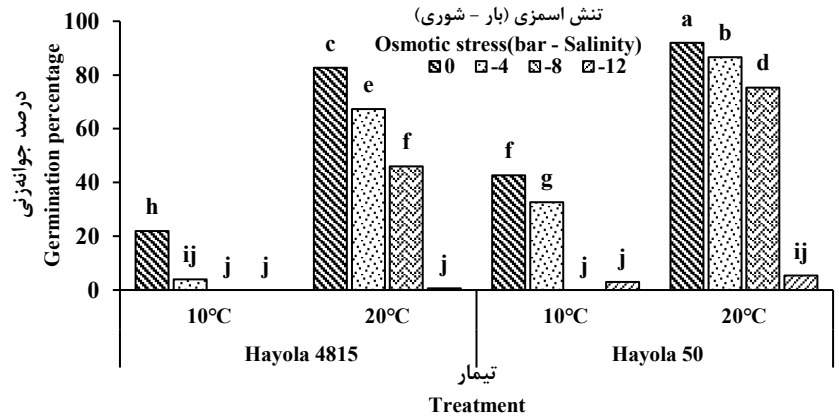
**مقایسه توانایی دو رقم در مواجه با شرایط همزمان دمایی و اسمزی:**

نتایج این تحقیق به‌طور واضح نشان داد که در دمای جوانه‌زنی ۱۰ درجه سلسیوس و سطوح اسمزی ۰ و ۴- بار، بذرهای هایولا ۵۰ در مقایسه با هایولا ۴۸۱۵ به‌طور معنی‌داری از درصد جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بودند. در دمای جوانه‌زنی ۲۰ درجه سلسیوس نیز در سطوح اسمزی ۰، ۴- و ۸- بار، بذر هایولا ۵۰ در مقایسه با هایولا ۴۸۱۵ به‌طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی بیشتری داشتند؛ البته در بالاترین سطح اسمزی مورد آزمایش، بذر هایولا ۵۰ نتوانست برتری خود را حفظ کند (شکل ۴).

نتایج این آزمایش نشان داد که در دمای جوانه‌زنی سردتر (۱۰ درجه سلسیوس) در تمامی سطوح اسمزی مورد آزمایش، هیچ‌یک از ارقام نتوانستند گیاهچه طبیعی (شکل ۵) و طول گیاهچه (شکل ۶) داشته باشند، ولی در دمای جوانه‌زنی گرم‌تر (۲۰ درجه سلسیوس) و در سطوح اسمزی ۰، ۴- و ۸- بار، بذر هایولا ۵۰ به‌طور معنی‌داری درصد گیاهچه نرمال و طول گیاهچه بیشتری تولید کرد. این نتایج با تحقیقاتی که نشان می‌دهند تنش اسمزی بالا پتانسیل آب را در خاک کاهش داده و فرآیندهای زیستی مرتبط با جوانه‌زنی را مختل می‌کند، هم‌راستاست (کاندیل و همکاران، ۲۰۱۲؛ جلیل[2] و همکاران، ۲۰۰۸، فاضلی نسب[3] و همکاران، ۲۰۲۳). تجمع یون‌های سدیم و کلر در محیط اطراف بذر موجب ایجاد سمیت یونی می‌شود که باعث اختلال در تنظیم فشار اسمزی و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (مرادی و پیری[4]، ۲۰۱۸)؛ در نتیجه، رشد گیاهچه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و حتی ممکن است رشد آن‌ها متوقف شود (تانستورک[5] و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج این آزمایش به‌خوبی نشان داد که رقم هایولا ۵۰ توانسته است در شرایط سخت‌تر رشد بیشتری داشته باشد، که این امر می‌تواند به ویژگی‌های ژنتیکی مقاوم‌تر آن در برابر تنش‌ها مربوط باشد. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که ارقام مقاوم به تنش می‌توانند در شرایط سخت رشد بهتری داشته باشند، زیرا این ارقام قادر به تحمل بهتر شرایط نامساعد مانند تنش اسمزی و دماهای پایین هستند (مانس و تستر[6]، ۲۰۰۸). در مقابل، هایولا ۴۸۱۵ در برابر تنش‌های دمایی و تنش اسمزی بسیار حساس است و این نشان می‌دهد که این رقم ممکن است فاقد سازوکارهای ژنتیکی مؤثر برای مقابله با شرایط سخت باشد. این تفاوت‌ها می‌توانند به‌دلیل تفاوت‌های ژنتیکی و سازوکارهای فیزیولوژیکی باشد که هر رقم برای مقابله با شرایط محیطی خاص به‌کار می‌برد (قاسیم[7] و همکاران، ۲۰۰۳؛ صفدر و همکاران، ۲۰۱۹). تفاوت عملکرد دو رقم در مقابل تنش اسمزی نیز به تفاوت‌های ژنتیکی و سازوکارهای مقابله‌ای آن‌ها بازمی‌گردد؛ هایولا ۵۰ به‌طور واضح توانسته است با تنش اسمزی مقابله کند و حتی در شرایط تنش اسمزی ۸- بار، برخی گیاهچه‌های طبیعی تولید کند، در حالی که هایولا ۴۸۱۵ توانایی هیچ‌گونه جوانه‌زنی در شرایط مشابه را نداشت. این نشان می‌دهد که هایولا ۵۰ احتمالاً دارای

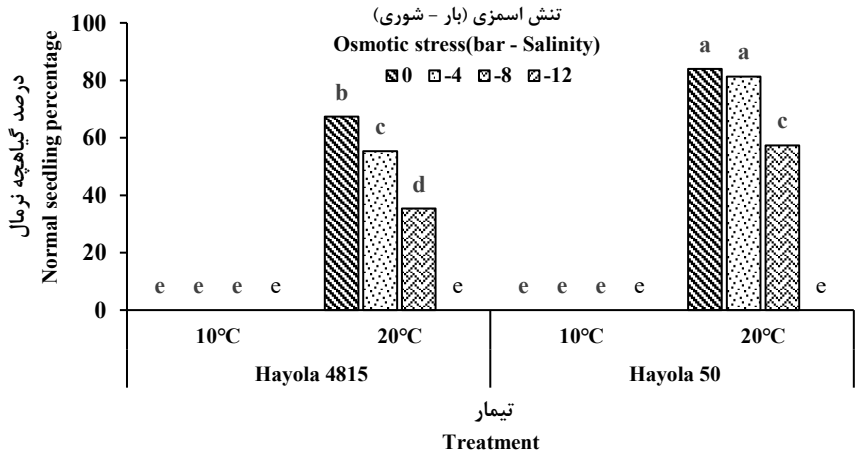
[1] Shaddam
[2] Jaleel
[3] Fazeli-Nasab
[4] Moradi and Piri
[5] Tunçtürk
[6] Munns & Tester
[7] Qasim

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]



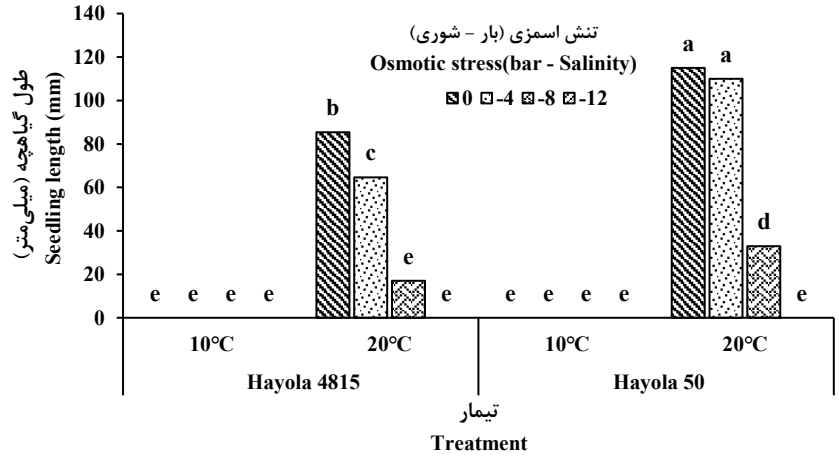

**شکل ۴** – مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای دمایی و اسمزی بر درصد جوانه‌زنی دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰).

**Figure 4.** Mean comparison of the interaction of temperature and osmotic treatments on seed germination percentage of two rapeseed cultivars.




**شکل ۵:** مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای دمایی و اسمزی بر درصد گیاهچه طبیعی دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰).

**Figure 5.** Mean comparison of the interaction of temperature and osmotic treatments on normal seedling percentage of two rapeseed cultivars.




**شکل ۶** – مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای دمایی و اسمزی بر طول گیاهچه دو رقم کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰).

**Figure 6:** Mean comparison of the interaction of temperature and osmotic treatments on normal seedling percentage of two rapeseed cultivars.

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

ویژگی‌های ژنتیکی خاصی است که به آن اجازه می‌دهد در برابر تنش اسمزی مقاوم‌تر باشد؛ این سازوکارها ممکن است شامل دفع یون‌های سمی و تنظیم فشار اسمزی باشند (لیو[1] و همکاران، ۲۰۱۹).

## مدل‌سازی غیر خطی رابطه دما و سرعت جوانه زنی

تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش نشان داد که مدل‌های رگرسیون غیرخطی شامل مدل بتای تغییریافته (شکل ۷)، مدل دو تکه‌ای (شکل ۸) و مدل دندان‌مانند (شکل ۹) قادر به توصیف رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی در ارقام مختلف کلزا هستند. بر اساس شاخص‌های آماری مورد استفاده، در هر دو رقم، مدل دندان‌مانند با داشتن بالاترین مقدار ضریب تبیین ($R^2$)، کمترین RMSE و پایین‌ترین مقدار AIC، بهترین برازش را به داده‌ها ارائه داد و از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بود (جدول ۱). بیشترین سرعت جوانه‌زنی در محدوده دمای مطلوب (To) مشاهده شد و با فاصله گرفتن از این محدوده، سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این مدل با در نظر گرفتن پارامترهای کلیدی دمایی، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار جوانه‌زنی در شرایط مختلف محیطی را فراهم می‌کند و می‌تواند در برنامه‌ریزی زراعی و انتخاب رقم مناسب مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۹).

نتایج مدل‌های دمایی نشان داد که رقم هایولا ۵۰ دارای دمای پایه پایین‌تر و دامنه دمایی مطلوب گسترده‌تری نسبت به هایولا ۴۸۱۵ است. دمای پایه پایین‌تر نشان‌دهنده توانایی این رقم در آغاز جوانه‌زنی در دماهای پایین‌تر و برخورداری از انعطاف‌پذیری بیشتر در شرایط خنک است. همچنین دامنه دمایی مطلوب گسترده‌تر بیانگر پایداری بیشتر عملکرد جوانه‌زنی این رقم در شرایط نوسان دمایی است. این ویژگی‌ها می‌تواند موجب استقرار بهتر گیاهچه و برتری عملکرد اولیه این رقم نسبت به هایولا ۴۸۱۵ شود.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تفاوت‌های مشاهده‌شده در پاسخ دمایی ارقام، می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی برای بهبود تحمل به تنش‌های دمایی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تعیین دماهای بحرانی برای هر رقم، امکان انتخاب زمان بهینه کاشت بر اساس شرایط اقلیمی منطقه را فراهم می‌کند و می‌تواند به استقرار مطلوب‌تر گیاهچه منجر شود.

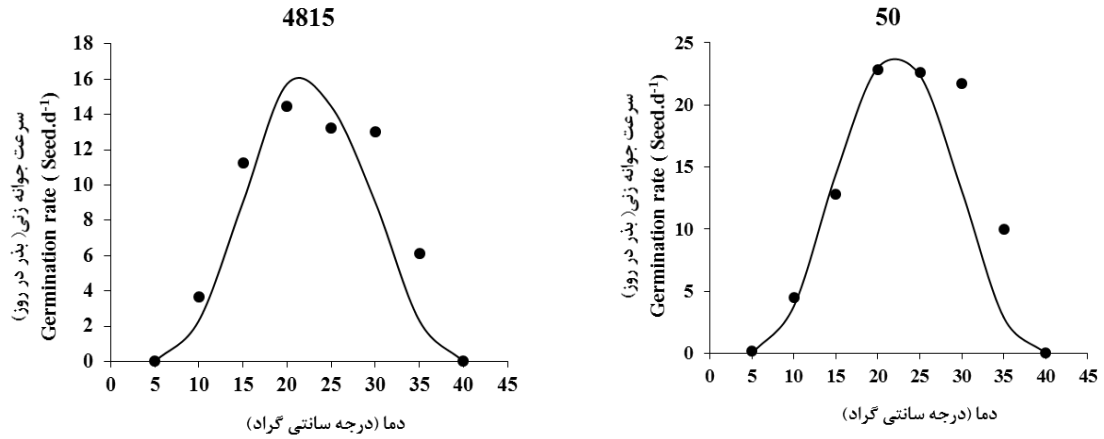
**جدول ۱**- پارامترهای پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان‌مانند و بتای تغییر یافته برای سرعت جوانه‌زنی بذر دو رقم کلزا.

**Table 1.** Predicted parameters using Segmented, Dent-like and Modified Beta models for seed germination rate of two rapeseed cultivars.

| مدل Model | رقم Cultivar | دمای پایه $T_b$ °C | دمای بهینه $T_o$ °C | دمای سقف $T_c$ °C | $R^2$ | RMSE | AIC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دوتکه ای (Segmented) | Hyola 4815 | 5.5 | 20 | 38.4 | 0.83 | 1.62 | 98.45 |
| | Hyola 50 | 4.8 | 20 | 39.2 | 0.76 | 4.89 | 101.51 |
| دندان مانند (Dent-like) | Hyola 4815 | 6.2 | 20-28 | 39.0 | 0.91 | 1.57 | 59.95 |
| | Hyola 50 | 4.8 | 20-30 | 38.2 | 0.97 | 1.12 | 56.68 |
| بتای تغییر یافته (Modified Beta) | Hyola 4815 | 5.5 | 20 | 39.5 | 0.85 | 4.01 | 92.26 |
| | Hyola 50 | 4.9 | 19 | 39.3 | 0.89 | 2.24 | 83.52 |

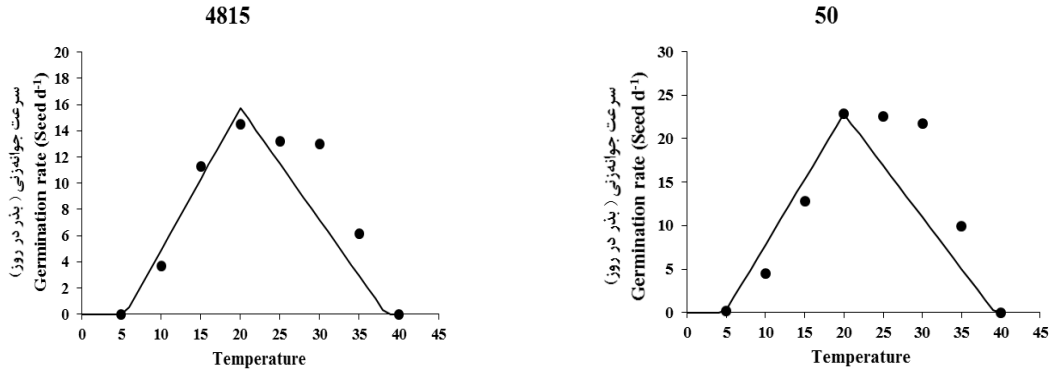
[1] Liu

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]



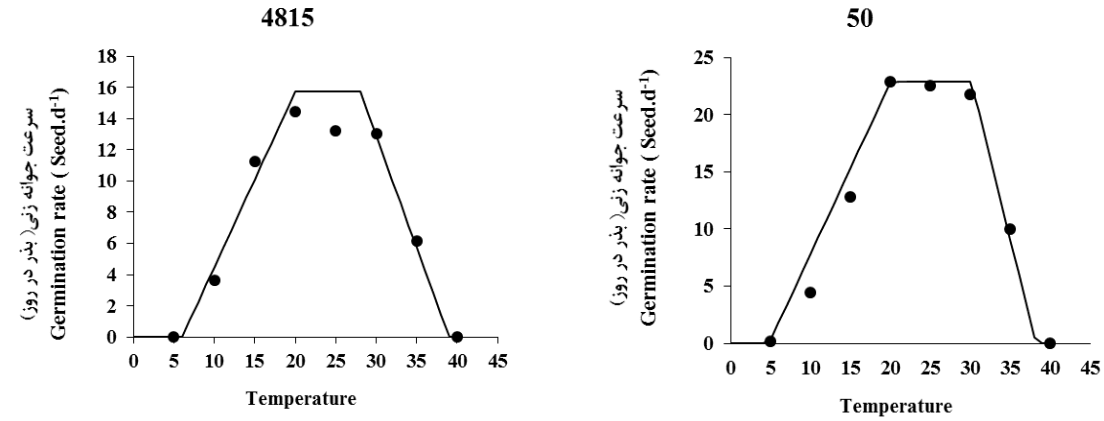

**شکل۷**- پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی ارقام کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰) در دماهای مختلف با استفاده از مدل بتای تغییریافته. در نمودارها، داده‌های مشاهده شده با علامت دایره توپر (●) و داده‌های پیش‌بینی شده با خط ممتد (–) مشخص شدند.

**Figure 7.** Prediction of germination ra te of Rapeseed cultivars (Hayola 4815 & 50) at different temperatures using the Modified Beta model. In the graphs, the observed data are marked with a (●) and the predicted data are marked with a (–).




**شکل ۸**- پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی ارقام کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰) در دماهای مختلف با استفاده از مدل دو تکه‌ای. در نمودارها، داده‌های مشاهده شده با علامت دایره توپر (●) و داده‌های پیش‌بینی شده با خط ممتد (–) مشخص شدند.

**Figure 8.** Prediction of germination rate of Rapeseed cultivars (Hayola 4815 & 50) at different temperatures using the Segmented model. In the graphs, the observed data are marked with a (●) and the predicted data are marked with a (–).




**شکل ۹**- پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی ارقام کلزا (هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰) در دماهای مختلف با استفاده از مدل دندان‌مانند. در نمودارها، داده‌های مشاهده شده با علامت دایره توپر (●) و داده‌های پیش‌بینی شده با خط ممتد (–) مشخص شدند.

**Figure 9.** Prediction of germination rate of Rapeseed cultivars (Hayola 4815 & 50) at different temperatures using the Dent-like model. In the graphs, the observed data are marked with a (●) and the predicted data are marked with a (–).

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین (بلوچی و همکاران، ۲۰۲۳؛ پیری و همکاران، ۲۰۲۴) هم‌راستا است و تأیید می‌کند که انحراف از دمای مطلوب، چه به سمت دماهای پایین و چه بالا، موجب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی می‌شود. بنابراین انتخاب رقم مناسب و مدیریت زمان کاشت بر اساس داده‌های دمایی می‌تواند نقش مهمی در بهبود موفقیت استقرار کلزا در شرایط مختلف اقلیمی داشته باشد.

در مجموع، نتائج این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل دندان مانند، نه‌تنها موجب افزایش دقت پیش‌بینی‌های فیزیولوژیک می‌شود، بلکه می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های راهبردی در مدیریت مزرعه و ارتقای عملکرد کلزا در شرایط اقلیمی متغیر کمک شایانی نماید.

## نتیجه‌گیری

این نتایج نشان‌دهنده اهمیت انتخاب ارقام مقاوم در برابر تنش‌های محیطی مانند دما و تنش اسمزی هستند. با توجه به این که هایولا ۵۰ در شرایط دمایی و تنش اسمزی وضعیت جوانه‌زنی بهتری داشت، این رقم ممکن است گزینه‌ای مناسب‌تر برای کشت در مناطق با تنش‌های محیطی باشد. همچنین، این مطالعه تأکید می‌کند که تحقیقات بیشتر در زمینه سازوکارهای مولکولی و ژنتیکی مقاوم‌سازی به تنش اسمزی می‌تواند به بهبود عملکرد ارقام در شرایط نامساعد کمک کند. پژوهش‌های آینده می‌توانند بر شناسایی ژن‌های مقاوم به تنش در کلزا و استفاده از روش‌های اصلاحی مانند ویرایش ژنی برای بهبود تحمل به تنش‌ها تمرکز کنند. همچنین، استفاده از روش‌های پرایمینگ بذر و مواد تنظیم‌کننده اسمزی مانند پلی‌اتیلن گلیکول یا نمک‌های کم‌غلظت می‌تواند به افزایش تحمل بذرها به تنش‌ها کمک کند.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش صرفاً بر بذر و گیاهچه انجام شد و شامل آزمودنی انسانی یا حیوانی نبود؛ بنابراین، دریافت کد اخلاق انسانی یا حیوانی موضوعیت نداشت.

نویسندگان اصول اخلاق پژوهش و درستکاری علمی را در انجام و انتشار این پژوهش رعایت کرده‌اند.

### مشارکت نویسندگان

مفهوم‌پردازی: فرزاد شریف‌زاده و ناصر مجنون حسینی؛ روش‌شناسی: یاسین محمدی، فرزاد شریف‌زاده و ناصر مجنون حسینی؛ تحلیل رسمی: یاسین محمدی؛ اجرای پژوهش: یاسین محمدی؛ منابع: فرزاد شریف‌زاده و ناصر مجنون حسینی؛ مدیریت داده‌ها: یاسین محمدی؛ نگارش پیش‌نویس اولیه: یاسین محمدی؛ بازبینی و ویرایش: یاسین محمدی، فرزاد شریف‌زاده و ناصر مجنون حسینی؛ تجسم داده‌ها: یاسین محمدی؛ نظارت: فرزاد شریف‌زاده و ناصر مجنون حسینی؛ مدیریت پروژه: فرزاد شریف‌زاده. همه نویسندگان نسخه نهایی مقاله را خوانده و تأیید کرده‌اند.

### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

### حامی مالی

این پژوهش با حمایت دانشگاه تهران (کرج، ایران) و در قالب رساله دکتری نویسنده اول انجام شد. هیچ گرنت خاصی از هیچ سازمان تأمین‌کننده مالی دیگری دریافت نشد.

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

**سپاسگزاری**

نویسندگان از گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) برای فراهم کردن امکانات پژوهشی و حمایت فنی صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان برای تأمین بذرهای کلزا مورد استفاده در این پژوهش قدردانی می‌شود. این پژوهش بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است.

## References منابع

Al-Thabet, S. S., Leilah, A. A., & Al-Hawass, I. (2004). Effect of NaCl and incubation temperature on seed germination of three canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences), 5*(1), 81–92.

Balouchi, H., Soltani Khankahdani, V., Moradi, A., Gholamhoseini, M., Piri, R., Heydari, S. Z., & Dedicova, B. (2023). Seed fatty acid changes germination response to temperature and water potentials in six sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars: Estimating the cardinal temperatures. *Agriculture, 13*(10), 1-17. https://doi.org/10.3390/agriculture13101936

Balouchi, H., Soltani Khankahdani, V., Piri, R., Moradi, A., Gholamhoseini, M., Heydari, S. Z, & Dedicova, B. (2025). Deciphering the germination behavior of sesame cultivars: the interplay of hydrothermal time model parameters and seed fatty acid profiles. *Plants, 14*(22), 3422. https://doi.org/10.3390/plants14223422

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). Physiology of De-velopment, Germination and Dormancy. Springer. 392 pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4

Bybordi, A. (2010). The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38,* 128-133. https://doi.org/10.15835/nbha3813572

Bybordi, A., & Tabatabaei, J. (2009). Effect of osmotic stress stress on germination and seed-ling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37,* 71-76. https://doi.org/10.15835/nbha3723299

Elias, S. G., & Copeland, L. O. (2001). Physiological and harvest maturity of canola in relation to seed quality. A*gronomy Journal, 93,* 1054-1058. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351054x

Fazeli-Nasab, B., Khajeh, H., Piri, R., & Moradian, Z. (2023). Effect of humic acid on germina-tion characteristics of *Lallemantia royleana* and *Cyamopsis tetragonoloba* under osmotic stress stress. *Iranian Journal of Seed Research, 9*(2), 51-62. [In Persian] https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.51

Ghabeli, S., Ebrahimi, H., Miri, H., Jafari Haghighi, B., & Jafari A. (2025). Investigation of the effects of temperature, salinity, and seed priming on the germination of Camelina (*Camelina sativa*) and modeling the germination response to temperature. *Iranian Journal of Seed Research, 12*(2), 223-247. [In Persian] https://doi.org/10.66224/yujs.12.2.223

Jaleel, C. A., Sankar, B., Murali, P., Gomathinayagam, M., Lakshmanan, G., & Panneerselvam, R. (2008). Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in *Catharanthus roseus*; impacts on ajmalicine accumulation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 62,* 105-111. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.09.026

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

Jamil, M., Lee, C. C., Rehman, S. U., Lee, D. B., Ashraf, M., & Rha, E. S. (2005). Salinity (NaCl) tolerance of Brassica species at germination and early seedling growth. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, 4*(4), 970-976.

Kandil, A., Sharief, A., Abido, W., & Abido, M. (2012). Response of some canola cultivars (*Brassica napus* L.) to osmotic stress stress and its effect on germination and seedling prop-erties. *Journal of Crop Science, 3*, 95-103.

Khan, N. A., Khan, M. I. R., Asgher, M., Fatma, M., Masood, A., & Syeed, S. (2014). Salinity tolerance in plants: Revisiting the role of sulfur metabolites. *Journal of Plant Biochemistry & Physiology, 2*, 120. https://doi.org/10.4172/2329-9029.100012

Liu, J., Hasanuzzaman, M., Wen, H., Zhang, J., Peng, T., Sun, H., & Zhao, Q. (2019). High temperature and drought stress cause abscisic acid and reactive oxygen species accumulation and suppress seed germination growth in rice. *Protoplasma, 256,* 1217–1227. https://doi.org/10.1007/s00709-019-01354-6

Long, J., Dong, M., Wang, C., & Miao, Y. (2023). Effects of drought and salt stress on seed germination and seedling growth of *Elymus nutans*. *PeerJ, 11*, e15968. https://doi.org/10.7717/peerj.15968

Moradi, A., & Piri, R. (2018). Enhancement of osmotic stress stress tolerance in Cumin (*Cum-inum cyminum* L.) as affected by plant growth promoting rhizobactria during germination stage. *Journal of Plant Process and Function, 6*(22), 47-54. [In Persian]

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of osmotic stress tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59,* 651–681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Naheed, R., Aslam, H., Kanwal, H., Farhat, F., Abo Gamar, M. I., Al-Mushhin, A. A. M., Jabborova, D., Javed Ansari, M., Shaheen, S., Aqeel, M., Noman, A., & Hessini, K. (2021). Growth attributes, biochemical modulations, antioxidant enzymatic metabolism and yield in *Brassica napus* varieties for salinity tolerance. *Saudi Journal of Biological Sciences, 28*(10), 5469–5479. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.021

Piri, R., Moradi, A. & Hosseini Moghaddam, M. (2018). Effect of accelerated aging and seed priming on germination and some biochemical indices of cumin (*Cuminum Cyminum* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 5*(1), 69-81. [In Persian] https://doi.10.22124/jms.2018.2901

Piri, R., Sharifzadeh, F., & Majnounhosseini, N. (2024). Quantifying seed germination response of Kochia (*Kochia scoparia*) to varying temperatures and osmotic stress due to osmotic stress. *Iranian Journal of Seed Research, 11*(1): 167-181. [In Persian] http://dx.doi.org/10.61186/yujs.11.1.167

Qasim, M., Ashraf, M., Ashraf, M., Rehman, S.-U., & Rha, E. (2003). Salt-induced changes in two canola cultivars differing in salt tolerance. *Biologia Plantarum, 46,* 629-632. https://doi.org/10.1023/A:1024844402000

Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., Hussan, M. U., & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of osmotic stress on plant growth. *Natural Science, 17,* 34-40. https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06

Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B., & Akramghaderi, F. (2008). Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology, 2,* 32-36.

Sulaiman, Ullah, S., Saud, S., Liu, K., Harrison, M. T., Hassan, S., Nawaz, T., Zeeshan, M., Nasar, J., Khan, I., Liu, H., Adnan, M., Kumar, S., Ali, M. I., Jamal, A., Zhu, M., Ali, N., Ali, S., El-Kahtany,

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]

K., & Fahad, S. (2023). Germination response of Oat (*Avena sativa* L.) to temperature and salinity using halothermal time model. *Plant Stress, 10*, 100263. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100263

Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., Yildirim, B., & Çiftçi, V. (2011). Effect of osmotic stress stress on plant fresh weight and nutrient composition of some canola (*Brassica napus* L.) cultivars. African *Journal of Biotechnology, 10,* 1827-1832.

Van 't Hoff, J. H. (1887). The role of osmotic pressure in the analogy between solutions and gases. *Zeitschrift für Physikalische Chemie, 1,* 481–508.

Zhang, G., Zhou, J., Peng, Y., Tan, Z., Li, L., Yu, L., Jin, C., Fang, S., Lu, S., Guo, L., & Yao, X. (2022). Genome-wide association studies of salt tolerance at seed germination and seedling stages in *Brassica napus*. *Frontiers in Plant Science, 12*, 772708. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772708

Zhang, H., Zhu, J., Gong, Z., & Zhu, J.-K. (2022). Abiotic stress responses in plants. *Nature Reviews Genetics, 23,* 104-119. https://doi.org/10.1038/s41576-021-00413-0

[ Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-26 ]