Iranian Journal of Seed Research

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

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Yasouj University

Effect of Seed Priming With Bulk and Nanoparticle of Zinc Oxide on the Quality of Chickpea (*Cicer arietinum*) Germination under Salinity Stress

Nasrin Teimoori[1], **Mohsen Saeidi**[2] ✉, **Mahmood Khoramivafa**[2], and **Shahab khoshkhoy**[3]

1. Postdoctoral student, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran. Email: nasrin.teimoori@gmail.com
2. Corresponding author, Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran. Email: msaeidi@razi.ac.ir; khoramivafa@razi.ac.ir
3. Medicinal Plants Department of Kermanshah ACECR institute of Higher Education, Kermanshah, Iran. Email: khoshkhooi@acecr.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2 June 2025
Received in revised form 16 August 2025
Accepted 26 August 2025
Available online 22 September 2025

Keywords:
Abnormal seedling
Allometric coefficient
Germination rate
Sodium chloride

ABSTRACT

Objective: This study aimed to assess the efficiency of Zinc Oxide (ZnO) nanoparticles in mitigating salinity stress effects in comparison with bulk ZnO, and to examine the influence of different priming durations on chickpea seed germination under salinity conditions.

Method: The study was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications on chickpea (Kasra cultivar). The first factor was the priming agent (1-100 nm ZnO nanoparticles, 40-60 nm ZnO nanoparticles, bulk ZnO, and hydro-priming). The second factor was the priming duration (6, 12, and 24 h), and the third factor was the level of salinity stress (0, 20, 40, and 80 mM NaCl). Key indicators related to germination quality and seedling growth were subsequently assessed.

Results: Salinity stress significantly affected the germination percentage, germination rate, mean germination time, mean daily germination, and seedling vigor weight index. The respective values at 0 and 80 mM NaCl were 98.7% vs. 68.4%, 15.6 vs. 10.4 germinated seeds per day, 2.11 vs. 2.39 days, 12.3 vs. 8.56 seeds per day, and 5466 vs. 1853. Salinity stress also significantly increased the root-to-shoot length ratio. Seed priming with 1-100 nm ZnO nanoparticles significantly increased seedling dry weight, shoot dry weight, root dry weight, and consequently, the seedling vigor index compared to other zinc forms and hydro-priming. Furthermore, this treatment reduced the percentage of abnormal seedlings to 20.7% under 80 mM NaCl. Priming durations of 12 and 24 h were superior to 6 h, resulting in a significant increase in seedling and shoot length, seedling and shoot weight, and the seedling vigor length index.

Conclusions: Salinity stress had significant adverse effects on germination and seedling growth characteristics and increased the proportion of abnormal seedlings. However, seed priming exerted a more pronounced positive effect on improving seedling growth and reducing the number of abnormal seedlings. Among the priming treatments, ZnO nanoparticles (1-100 nm) with a priming duration of 12 h were the most effective in enhancing seedling growth and the seedling vigor index, providing clear guidance for future research and applications.

Cite this article: Teimoori, N., Saeidi, M., Khoramivafa, M., & Khoshkhoy, S. (2025). Effect of seed priming with bulk and nanoparticle of zinc oxide on the quality of chickpea (*Cicer arietinum*) germination under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *12* (1), 133-156. http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.133

© The Author(s).
Publisher: Yasouj University.
DOI: http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.133

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

Highlights

- Seed priming at a salinity level of 20 mM significantly alleviated the adverse effects of salinity on seedling growth parameters.
- Seed priming of chickpea with zinc nanoparticles (1 to 100 nm) was more effective than other seed priming methods in promoting seedling growth.
- A priming duration of 12 h was identified as the optimal treatment for maximizing seedling growth and vigor index.

Introduction

Salinity stress is an increasing global challenge that reduces crop productivity by adversely affecting seed germination and early seedling growth (Khan et al., 2022). Chickpea is one of the most important rainfed crops in western Iran (Nezami et al., 2022). Seed priming with micronutrients has been proposed as a promising approach to enhance seedling tolerance to environmental stresses (Shelar et al., 2024). Accordingly, the present study aimed to evaluate the effects of seed priming type and duration, including zinc oxide in bulk and nanoparticle forms as well as hydropriming, under salinity stress on germination indices and early seedling growth of chickpea.

Method

This study was conducted as a factorial experiment arranged in a completely randomized design with three replications using chickpea (*Cicer arietinum* L., cv. Kasra). The experimental factors included priming type, priming duration, and salinity stress level. The first factor was priming type, comprising zinc oxide nanoparticles (1–100 and 40–60 nm), bulk zinc oxide, and hydropriming. The second factor was priming duration, with three levels of 6, 12, and 24 h. The third factor consisted of salinity stress levels of 0, 20, 40, and 80 mM sodium chloride (NaCl).

For seed priming, chickpea seeds were soaked in the respective priming solutions for the designated durations and subsequently air-dried to their initial moisture content prior to the germination test. Germination experiments were conducted under controlled laboratory conditions. Germination indices, including germination percentage, germination rate, and mean germination time, were recorded. In addition, early seedling growth parameters such as root length, shoot length, seedling dry weight, and vigor index were measured.

Results

Salinity stress significantly affected germination percentage and rate, mean germination time, mean daily germination, and seedling vigor weight index. The values of these traits under non-saline conditions and 80 mM salinity stress were 98.7 and 68.4%, 15.6 and 10.4 seeds day^{-1}, 2.11 and 2.39 days, 12.3 and 8.56 seeds day^{-1}, and 5466 and 1853, respectively. Salinity stress also caused a significant increase in the root-to-shoot length ratio.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

Seed priming with zinc oxide nanoparticles (1–100 nm) significantly enhanced seedling dry weight, shoot and root dry weights, and consequently the seedling vigor weight index compared with bulk zinc oxide, zinc oxide nanoparticles (40–60 nm), and hydropriming treatments. Under 80 mM salinity stress, the percentage of abnormal seedlings increased significantly to 28.3%; however, priming with zinc oxide nanoparticles (1–100 nm) reduced this value to 20.7%.

In terms of priming duration, seed priming for 12 and 24 h was superior to 6 h, resulting in significant increases in seedling and shoot length, fresh weight, shoot dry weight, and seedling vigor length index.

Conclusions

The present study demonstrates that salinity stress markedly impairs germination and early seedling development, leading to a higher incidence of abnormal seedlings. Seed priming proved to be an effective strategy to counteract these negative effects, significantly enhancing seedling growth and reducing the proportion of abnormal seedlings. Among the priming treatments tested, zinc oxide nanoparticles (1–100 nm) applied for 12 hours were the most beneficial in promoting seedling vigor and biomass accumulation. These results highlight the potential of nanoparticle-based seed priming as a practical approach to improve chickpea establishment under saline conditions and provide a foundation for future investigations on optimizing seed treatments for stress tolerance.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial and equipment support of Razi University and the National Chickpea Council of Iran.

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 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

پژوهش‌های بذر ایران

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

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

اثر پرایمینگ بذر با فرم‌های بالک و نانوذره اکسید روی بر کیفیت جوانه‌زنی نخود (*Cicer arietinum*) تحت تنش شوری

نسرین تیموری[۱]، محسن سعیدی[۲]✉، محمود خرمی وفا[۲] و شهاب خوشخوی[۳]

۱. دانشجوی پسادکترا گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: nasrin.teimoori@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: msaeidi@razi.ac.ir؛ khoramivafa@razi.ac.ir

۳. پژوهشگر موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی گروه گیاهان دارویی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، ایران. رایانامه: khoshkhooi@acecr.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
جوانه غیرطبیعی
سرعت جوانه‌زنی
ضریب آلومتریک
کلرید سدیم

چکیده

هدف: هدف از اجرای این آزمایش بررسی کارایی کاهش اثرات منفی تنش شوری توسط فرم نانوذره اکسید روی در مقایسه با فرم بالک آن و همچنین تأثیر مدت زمان پرایمینگ بذر بر بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر نخود در شرایط تنش شوری بود.

روش پژوهش: این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار روی گیاه نخود (رقم کسری) انجام شد. عامل اول نوع پرایمینگ (نانوذره اکسید روی یک تا ۱۰۰ و ۴۰ تا ۶۰ نانومتر، اکسید روی بالک، و هیدروپرایم)، عامل دوم مدت زمان پرایمینگ (۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت) و عامل سوم تنش شوری (۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بودند. در ادامه مهم‌ترین شاخص‌های مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان و متوسط روزانه جوانه‌زنی و شاخص وزنی بنیه گیاهچه به طور معنی‌دار تحت تاثیر تیمارهای تنش شوری قرار گرفتند. مقدار آن‌ها در شرایط عدم تنش شوری و تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار به ترتیب ۹۸/۷ و ۶۸/۴ درصد، ۱۵/۶ و ۱۰/۴ بذر جوانه‌زده در روز، ۲/۱۱ و ۲/۳۹ روز، ۱۲/۳ و ۸/۵۶ بذر در روز و ۵۴۶۶ و ۱۸۵۳ بود. تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه شد. تیمار پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه، ساقه‌چه، ریشه‌چه و در نتیجه شاخص وزنی بنیه گیاهچه نسبت به روی بالک، نانوذره روی ۴۰ تا ۶۰ نانومتر و هیدروپرایم شد. در شرایط تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار درصد گیاهچه غیرطبیعی به ۲۸/۳ درصد رسید، اما پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری آن را تا ۲۰/۷ درصد کاهش داد. پرایمینگ بذر در زمان‌های ۱۲ و ۲۴ ساعت از نظر افزایش معنی‌دار طول و وزن تر گیاهچه و ساقه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و شاخص طولی بنیه گیاهچه نسبت به زمان ۶ ساعت برتر بودند.

نتیجه‌گیری: تنش شوری اثر منفی معنی‌دار بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه و افزایش تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی داشت. اما اثرات مثبت و معنی‌دار پرایمینگ بذر بیش‌تر روی بهبود رشد گیاهچه و در نتیجه کاهش تعداد گیاهچه‌های غیر طبیعی بود. بین تیمارهای پرایمینگ بذر، نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری و زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت در بهبود رشد گیاهچه و بنیه وزنی گیاهچه برتری داشتند.

جنبه‌های نوآوری:

- پرایمینگ بذر در سطح ۲۰ میلی‌مولار تنش شوری اثرات مضر تنش شوری بر خصوصیات رشدی گیاهچه را کاهش داد.
- پرایمینگ بذر نخود با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری در بهبود رشد گیاهچه برتر بود.
- مناسب‌ترین زمان پرایمینگ بذر جهت افزایش خصوصیات رشدی گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه ۱۲ ساعت بود.

استناد: تیموری، نسرین؛ سعیدی، محسن؛ خرمی وفا، محمود و خوشخوی، شهاب (۱۴۰۴). اثر پرایمینگ بذر با فرم‌های بالک و نانوذره اکسید روی بر کیفیت جوانه‌زنی نخود (*Cicer arietinum*) تحت تنش شوری. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۱۵۶-۱۳۳. http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.133

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) از مهم‌ترین گیاهان سرمادوست خانواده حبوبات است که به دلیل مقاومت به خشکی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان اغلب به صورت دیم کشت می‌شود. این گیاه به ویژه در مناطقی که با ناامنی غذایی و تغذیه‌ای مواجه هستند، دارای اهمیت کشاورزی و تغذیه‌ای فوق‌العاده می‌باشد (جها[1] و همکاران، ۲۰۲۴؛ نظامی[2] و همکاران، ۲۰۲۲). سطح برداشت شده و متوسط عملکرد در واحد سطح نخود در جهان در سال ۲۰۲۳ به ترتیب حدود ۱۴ میلیون هکتار و ۱۱۷۱ کیلوگرم در هکتار و در ایران به ترتیب ۴۲۴ هزار هکتار و ۴۳۱ کیلوگرم در هکتار بود (فائو[3]، ۲۰۲۵). با توجه به پایین بودن متوسط عملکرد در واحد سطح نخود در ایران نسبت به متوسط جهانی آن، راهکارهایی که بتوانند متوسط عملکرد دانه نخود را افزایش دهند، از اهمیت بالایی برخوردارند.

شوری خاک از معضلات خاک‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بخش وسیعی از خاک‌های زراعی ایران جزء این مناطق است (ممبنی[4] و همکاران، ۲۰۱۵). نخود یکی از گیاهان حساس به شوری خاک است. مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه نخود، حساس‌ترین مراحل نموی این گیاه به تنش شوری می‌باشند (لو[5] و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج یک تحقیق نشان داد که تحمل تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نخود با سازوکارهای فیزیولوژیک و مولکولی از جمله حفظ نسبت Na^+/K^+ کم‌تر، تنظیم اسمزی کارآمد، و فعال‌سازی ژن‌های پاسخ دهنده به نمک و درگیر در مسیرهای سیگنال‌دهی مرتبط است (کوتولا[6] و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیقی دیگر با افزایش شدت تنش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار درصد جوانه‌زنی نخود تا ۲۳ درصد کاهش یافت، اما تأثیر معنی‌داری بر نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه نداشت (شتایا[7] و همکاران، ۲۰۲۱). گل و شاه[8] (۲۰۲۳) در مقایسه اثر تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف نخود گزارش نمودند که در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار تنش شوری جوانه‌زنی برخی از ژنوتیپ‌های نخود به طور کامل متوقف شد. در همین شرایط برخی از ژنوتیپ‌ها تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی خود را حفظ کردند. این نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی فراوانی برای مقاومت به سطوح مختلف تنش شوری در نخود وجود دارد (شتایا و همکاران، ۲۰۲۱؛ گل و شاه، ۲۰۲۳).

جوانه‌زنی سریع بذرها و استقرار بوته‌ها از جنبه‌های ضروری زراعت است که بر عملکرد گیاهان زراعی در محیط‌های تنش‌زا تأثیر معنی‌دار دارد. راهکارهای مختلفی برای بهبود تحمل تنش خشکی و شوری در گیاهان زراعی استفاده می‌شود. یکی از بهترین راهکارها پرایمینگ بذر است که به عنوان یک روش کم‌هزینه برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی و شوری ارزیابی شده است (فاروق[9] و همکاران، ۲۰۲۰؛ خان[10] و همکاران، ۲۰۲۲). پرایمینگ بذر یک روش، آسان، مقرون به صرفه و کاربردی پیش از کاشت است که شامل جذب آب توسط بذرها با هدف فعال کردن فرآیندهای فیزیولوژیک جوانه‌زنی بدون خروج ریشه‌چه از بذر است (جرار[11] و همکاران ۲۰۲۴؛ جانسون و پوتور[12]، ۲۰۲۱). در شرایط تنش شوری، این روش به دلیل توانایی آن در کاهش تنش اسمزی، سمیت یونی و آسیب اکسیداتیو اهمیت زیادی پیدا کرده است. پرایمینگ بذر توسط فرم بالک و نانوذرات (به عنوان مثال، روی، آهن یا سیلیس) به عنوان یک راهبرد پیشرفته است که تحویل مواد مغذی و فعال‌سازی مؤثرتر مسیرهای متابولیسمی و تحریک جوانه‌زنی و سبزشدن پرقدرت را در مقایسه با روش‌های مرسوم باعث می‌شود (شلار[13] و همکاران، ۲۰۲۴). براساس گزارش سیدی[14] و همکاران (۲۰۱۲) در شرایط اعمال

[1] Jha
[2] Nezami
[3] FAO
[4] Mombeni
[5] Lu
[6] Kutola
[7] Shtaya
[8] Gul and Shah
[9] Farooq
[10] Khan
[11] Jarrar
[12] Johnson and Puthur
[13] Shelar
[14] Seyedi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

شدت‌های مختلف تنش شوری (صفر، ۲-، ۴-، ۶-، ۸- و ۱۰- بار)، در سطح ۱۰- بار درصد جوانه‌زنی بذر نخود به کم‌تر از ۲۰ درصد رسید. پرایم بذر با سولفات روی در این شرایط سبب افزایش درصد جوانه‌زنی تا بیش از ۴۰ درصد شد. مصطفی[1] و همکاران (۲۰۲۴) نیز گزارش نمودند که غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید روی سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه نخود تا ۹/۷۲ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین اثرات منفی تنش شوری بر طول ریشه‌چه را به طور معنی‌داری کاهش داد. غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید روی در این تحقیق با ایجاد اثرات سمیت، سبب کاهش معنی‌دار رشد گیاهچه شد.

مدت زمان پرایمینگ بذر و غلظت ترکیب مورد استفاده جهت پرایمینگ بذر عوامل مهمی هستند که بر خصوصیات جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نهایت عملکرد دانه گیاهان تأثیر معنی‌دار دارند. در مطالعات مختلف مدت زمان‌های مختلفی از ۴ تا ۲۴ ساعت برای بررسی اثر پرایمینگ بذر نخود استفاده شده است (عباس‌نژاد[2] و همکاران، ۲۰۰۹؛ الکوکا[3] و همکاران، ۲۰۰۷؛ خدرجی[4] خدرجی[4] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کاشال[5] و همکاران، ۲۰۲۴). به عنوان مثال، در یک بررسی که از مدت زمان‌های ۳، ۶، ۱۶ و ۲۴ ساعت برای پرایمنگ بذر رقم‌های مختلف نخود استفاده شد، نتایج نشان دادند که سایر زمان‌های مورد استفاده اثر مثبت بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر نخود داشتند، اما طبق نتایج، زمان انتخاب شده برای پرایم بذر به نوع رقم بستگی داشت (خدرجی و همکاران، ۲۰۲۱).

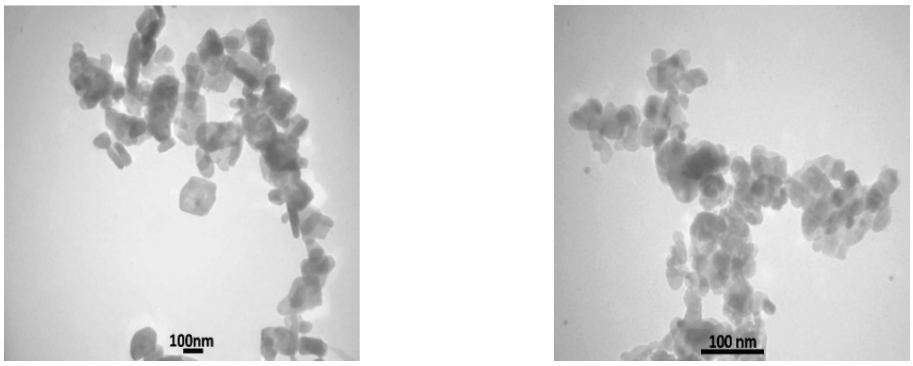
این مطالعه با هدف بررسی اثر مدت زمان پرایمینگ بذر با استفاده از فرم‌های بالک و نانو اکسید روی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر نخود در شدت‌های مختلف تنش شوری انجام شد. فرض بر این است که نانوذرات اکسید روی به دلیل اندازه کوچک‌تر و افزایش جذب، تأثیر مفیدتری در تحریک جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذر در مقایسه با فرم بالک آن خواهند داشت. علاوه بر این، طول دوره طولانی‌تر پرایمینگ بذر می‌تواند صفات جوانه‌زنی را در شرایط تنش شوری بهتر از دوره کوتاه‌تر بهبود بخشد، و به طور کلی تیمارهای پرایمینگ بذر سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی نخود خواهند شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۴۰۴ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی انجام شد. گیاه مورد بررسی نخود و رقم مورد استفاده کسری بود. بذر این رقم از مرکز تحقیقات دیم سرارود تهیه شد. این رقم پاییزه در سال ۱۴۰۱ معرفی شده است. متوسط عملکرد آن ۱۱۴۱ کیلوگرم در هکتار است و مناسب برای کشت در دیمزارهای مناطق معتدل و نیمه گرمسیر است. این تحقیق در دو مرحله شامل: ۱) پرایمینگ بذر و ۲) بررسی اثر پرایمینگ بذر بر کیفیت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در شرایط تنش شوری انجام شد. در مرحله اول، قبل از انجام پرایمینگ، بذرها با هیپوکلریت سدیم دو درصد به مدت سه دقیقه ضدعفونی شده و سپس سه بار با آب مقطر اتوکلاو شده شسته شدند. جهت پرایمینگ بذرها از محلول‌های ۵۰ میلیگرم در لیتر روی بالک (معمولی)، نانوذره روی با قطر ذرات ۱۰۰-۱ نانومتر، نانوذره روی با قطر ذرات ۶۰-۴۰ نانومتر استفاده شد (شکل ۱). فرم بالک و نانوذره روی به صورت اکسید روی ساخت کشور آمریکا بودند و با درجه خلوص بیش‌تر از ۹۹/۹ درصد از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شدند. از روش هیدروپرایم و بدون پرایم هم به عنوان تیمارهای شاهد استفاده شد. همچنین به منظور بررسی اثر مدت زمان پرایمینگ بذر بر کیفیت جوانه‌زنی و سبزشدن گیاهچه‌ها، مدت زمانهای مختلف شامل ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت نیز مورد استفاده قرار گرفتند. پرایمینگ بذر در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سلسیوس) انجام شد. بنابراین در مدت زمان‌های مختلف، بذرهای نخود در ظرف‌های حاوی محلول‌های فوق قرار گرفتند و در طول مدت پرایمینگ ظرف‌های حاوی بذرها هوادهی شدند و

[1] Mustafa
[2] Abass Nejad
[3] Elkoca
[4] Khadraji
[5] Kaushal

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]



Zinc oxide 1 to 100 nm Zinc oxide 40 to 60 nm

شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوذرات اکسید روی با اندازه ذرات مختلف

Fig. 1. Scanning electron microscope image (SEM) of zinc oxide nanoparticles with different particle sizes

جهت ریزشدن حباب‌های هوا در این محلول‌ها از سنگ هوا استفاده شد. پس از پایان مدت زمانهای مختلف پرایمینگ، بذرها توسط آب مقطر اتوکلاو شده به سرعت شسته شده و ابتدا رطوبت سطح بذرها توسط حوله پارچه‌ای به آرامی خشک شد. سپس بذرها روی چند لایه کاغذ به مدت ۲۴ ساعت با هوادهی ملایم خشک شدند (بروگینک[1] و همکاران، ۱۹۹۹) و جهت مرحله دوم آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

در مرحله دوم، بذرهای پرایم شده به همراه بذرهای پرایم نشده (شاهد) برای ارزیابی کیفیت جوانه‌زنی در شدتهای مختلف تنش شوری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. این آزمایش شامل چهار سطح شوری (صفر، ۲۰، ۴۰، و ۸۰ میلی‌مولار) با استفاده از کلرید سدیم (فاکتور اول) و مدت زمان‌های مختلف پرایمینگ بذر (۶، ۱۲و ۲۴ ساعت) به همراه تیمار شاهد (فاکتور دوم) بود. بذرهای پرایم نشده فقط تحت تیمارهای تنش شوری قرار گرفتند و در تجزیه نهایی دادهها وارد نشده و میانگین آن‌ها صرفاً جهت مقایسه در کنار دادههای تنش شوری قرار گرفت. کلرید سدیم مورد استفاده جهت تهیه سطوح مختلف تنش شوری از شرکت مرک با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد تهیه شد. پتری‌های مورد استفاده جهت تست جوانه‌زنی از نوع استریل و با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر بودند. آب مورد استفاده جهت تهیه محلول‌ها، کاغذ صافی و سایر وسایل مورد استفاده از جمله پنس‌ها اتوکلاو شدند. در هر پتری، ۲۵ عدد بذر بین دو لایه کاغذ صافی قرار گرفت. در ادامه ۱۰ میلی‌لیتر از محلول مورد نظر زیر کاغذ صافی هر ظرف ریخته شد. به منظور کاهش تبخیر آب، پتری‌ها توسط پارافیلم درزگیری شدند و به ژرمیناتور منتقل شدند و در دمای ۱±۲۰ درجه سلسیوس (شب/روز) با ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت هشت روز نگهداری شدند (ایستا[2]، ۲۰۱۶). شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه در هشت روز متوالی ثبت شد. خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر به عنوان معیار جوانه‌زنی بذر در نظر گرفته شد (آلن[3] و همکاران، ۱۹۸۵). برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک و طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه، در پایان روز هشت از هر پتری ۱۰ بذر جوانه‌زده به صورت تصادفی انتخاب شدند و پس از جداکردن بخش‌های مورد نظر از بذر، ابتدا طول و سپس وزن تر آنها اندازه‌گیری شدند. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند و با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

سپس سایر صفت‌های مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی شامل: درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، شاخص طولی

[1] Bruggink

[2] ISTA

[3] Alen

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

و وزنی بنیه گیاهچه و ضریب آلومتریک جوانه‌زنی نیز محاسبه شدند (جدول ۱).

در پایان آزمایش، تعداد بذرهای جوانه‌زده که گیاهچه غیرطبیعی تولید کرده بودند نیز شمارش شدند. این بذرها شرایطی دارند که در صورت انتقال به مزرعه، قادر به ایجاد گیاهچه طبیعی نخواهند بود (ایستا، ۲۰۱۶). پس از جمع‌آوری و محاسبه داده‌ها نیز، ابتدا طبیعی بودن روند توزیع داده‌ها بررسی شد و در صورت نیاز، طبیعی شدند. سپس تجزیه داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲، SAS Institute, USA) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری یا LSD ($P\leq0.05$) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. در ادامه صفت‌هایی که برهمکنش تیمارها روی آن‌ها معنی‌دار نشده است، مقایسه میانگین و تفسیر نتایج اثرات اصلی، و صفت‌هایی که برهمکنش روی آن‌ها معنی‌دار شده است، تمرکز صرفاً بر مقایسه میانگین و تفسیر نتایج برهمکنش بوده و اثرات ساده بررسی نشده‌اند.

درصد جوانه‌زنی: سطوح تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذر نخود نسبت به شرایط عدم تنش شوری (۹۸/۷ درصد) شدند. در این شرایط درصد جوانه‌زنی بذرها در سطوح ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار تنش شوری به ترتیب ۹۶/۷، ۸۸/۹ و ۶۸/۴ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۱. صفت‌های اندازه‌گیری شده به همراه روش اندازه‌گیری آنها

Table 1. Measured attributes along with their measurement method

ویژگی جوانه‌زنی Germination traits	فرمول Formula	منبع Source
درصد جوانه‌زنی Germination percentage	$GP = (N\times100) / M$	ایستا (۲۰۱۶)
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	$GR = \Sigma Ni / Ti$	مگوایر[1] (۱۹۶۲)
میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	$MGT = \Sigma (Ni \times Di)/ \Sigma N$	الیس و روبرت[2] (۱۹۸۱)
میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	$MDG = GP/T$	اسکات[3] و همکاران (۱۹۸۴)
شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling vigor length index	$SVL = GP \times SL$	عبدالباکی و اندرسون[4] (۱۹۷۳)
شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling vigor weight index	$SVW = GP \times SDW$	عبدالباکی و اندرسون (۱۹۷۳)
ضریب آلومتریک Allometric coefficient	$AC = SDW/RDW$	تومانگو[5] و همکاران (۲۰۲۰)

GP: درصد جوانه‌زنی، N: تعداد بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، M: تعداد کل بذرها، GR: سرعت جوانه‌زنی، Ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Ti: تعداد روزهای سپری شده از آغاز آزمایش، MTG: میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی، Di: تعداد روزهای پس از آغاز جوانه‌زنی، ∑Ni تعداد کل بذرهای جوانه‌زده، SVW : شاخص وزنی بنیه گیاهچه، SVL: شاخص طولی بنیه گیاهچه، SL: طول ساقه‌چه ، AR: ضریب آلومتریک، SDW: وزن خشک ساقه‌چه ، RDW: وزن خشک ریشه‌چه

[1] Maguire
[2] Ellis
[3] Scott
[4] Abdul-Baki
[5] Tamagno

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای پرایمینگ، زمان پرایمینگ بذر و تنش شوری بر برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه نخود

Table 2. Variance analysis (mean square) of priming, priming time and drought stress on Chickpea seed germination and growth

منابع تغییرات		درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	شاخص طولی بنیه گیاهچه	شاخص وزنی بنیه گیاهچه	ضریب آلومتریک	ساقه‌چه /ریشه‌چه
Sources of variations		d.f.	Germination percentage	Germination rate	Mean germination time	Mean daily germination	Seedling vigor length	Seedling vigor weight	Allometric coefficient	Root/Shoot
Priming (P)	پرایمینگ	3	18.5^{ns}	0.762^{ns}	0.099^{ns}	0.289^{ns}	20316**	3551875**	0.060^{ns}	0.021^{ns}
Priming Time (T)	زمان پرایمینگ	2	74.3*	2.42^{ns}	0.025^{ns}	1.16*	29956**	1465885^{ns}	0.141*	0.004^{ns}
P×T		6	48.4*	0.687^{ns}	0.037^{ns}	0.756*	5060^{ns}	980564^{ns}	0.107*	0.079^{ns}
Salt stress (S)	تنش شوری	3	6863**	190**	0.38**	107**	3745659**	92735203**	0.417**	52.2**
P×S		9	11^{ns}	0.716^{ns}	0.025^{ns}	0.172^{ns}	9424*	637073^{ns}	0.009^{ns}	0.047^{ns}
T×S		6	27.9^{ns}	0.475^{ns}	0.037^{ns}	0.437^{ns}	3195^{ns}	162848^{ns}	0.017^{ns}	0.16^{ns}
P×T×S		18	15.9^{ns}	0.3^{ns}	0.012^{ns}	0.248^{ns}	1524^{ns}	150746^{ns}	0.036^{ns}	0.083^{ns}
Error	خطا	96	17.9	0.906	0.047	0.280	4359	721268	0.038	0.202
CV (%)	ضریب تغییرات		4.8	7.04	9.64	4.8	9.22	21.48	17.57	38.16

منابع تغییرات		درجه آزادی	طول گیاهچه	وزن‌تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	طول ریشه‌چه	وزن‌تر ریشه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن تر ساقه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	گیاهچه غیرطبیعی
Sources of variations		d.f.	Seedling length	Seedling fresh weight	Seedling dry weight	Root length	Root fresh weight	Root dry weight	Shoot length	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Abnormal seedling
Priming (P)	پرایمینگ	3	2.31**	5922**	389**	0.242^{ns}	219**	145**	3.93**	1095**	60.9**	38.8*
Priming Time (T)	زمان پرایمینگ	2	1.65*	3659**	96.9^{ns}	0.133^{ns}	5.82^{ns}	25.8^{ns}	2.42*	676**	47.94*	17.4^{ns}
P×T		6	0.36^{ns}	1856^{ns}	84.8^{ns}	0.180^{ns}	61.2*	34.9^{ns}	0.579^{ns}	343^{ns}	22.1^{ns}	5.59^{ns}
Salt stress (S)	تنش شوری	3	262**	125934**	5686**	4.3**	4.44^{ns}	1061**	296**	23284**	1852**	4205**
P×S		9	0.928*	1309^{ns}	50.7^{ns}	0.2^{ns}	10.22^{ns}	18.66^{ns}	1.42^{ns}	242^{ns}	11.37^{ns}	29.6*
T×S		6	0.523^{ns}	526^{ns}	21.3^{ns}	0.062^{ns}	8.80^{ns}	10.64^{ns}	0.719^{ns}	97.4^{ns}	5.55^{ns}	2.77^{ns}
P×T×S		18	0.112^{ns}	849^{ns}	18.2^{ns}	0.122^{ns}	11.5^{ns}	9.11^{ns}	0.230^{ns}	157^{ns}	4.20^{ns}	13.4^{ns}
Error	خطا	96	0.416	927	72.1	0.231^{ns}	24.6	28.54^{ns}	0.768	171	15.35	12.5
CV (%)	ضریب تغییرات		8.26	13.73	19.58	41.45	20.75	25.87	18.39	13.73	17.25	37.08

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: non- significant, significant at the five and one percent of probability, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت بذر نخود تحت تاثیر سطوح مختلف تنش شوری

Table 3. Mean comparison of some traits related to chickpea seed quality under different levels of salinity stress

تنش شوری Salinity stress	وزن تر ساقه‌چه Shoot F.W.	وزن خشک ساقه‌چه Shoot D.W.	جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط زمان جوانه‌زنی Mean time of germination
mM	mg	mg	%	Seed d^{-1}	d
0	122.7^{a}	29.5^{a}	98.7^{a}	15.6^{a}	2.11^{c}
20	108.3^{b}	26.6^{b}	96.7^{b}	14.8^{b}	2.23^{b}
40	85.5^{c}	21.7^{c}	88.9^{c}	13.3^{c}	2.33^{ab}
80	64.9^{d}	13.1^{d}	68.4^{d}	10.4^{d}	2.39^{a}
LSD (0.05)	6.13	1.83	1.98	0.445	0.101

تنش شوری Salinity stress	متوسط جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling vigor weight index	ضریب آلومتریک Allometric Coefficient	طول ریشه‌چه به ساقه‌چه Root L./Shoot L.
mM	seed			
0	12.33^{a}	5466^{a}	1.182^{a}	0.365^{c}
20	12.08^{b}	4902^{b}	1.120^{a}	0.504^{c}
40	11.11^{c}	3594^{c}	1.194^{a}	0.892^{b}
80	8.56^{d}	1853^{d}	0.960^{b}	2.953^{a}
LSD (0.05)	0.248	397	0.091	0.210

تنش شوری Salinity stress	وزن تر گیاهچه Seedling F.W.	وزن خشک گیاهچه Seedling D.W.	طول ریشه‌چه Root length	وزن خشک ریشه‌چه Root D.W.	طول ساقه‌چه Shoot length
mM	mg	mg	mm	mg	mm
0	285^{a}	55.3^{a}	2.60^{c}	25.8^{a}	7.64^{a}
20	252^{b}	50.7^{b}	3.06^{b}	24.2^{a}	6.36^{b}
40	199^{c}	40.4^{c}	3.45^{a}	18.7^{b}	3.95^{c}
80	151^{d}	27.0^{d}	3.06^{b}	13.9^{c}	1.12^{d}
LSD (0.05)	14.2	3.97	0.225	2.50	1.12

در هر ستون میانگین‌هایی که تفاوت آن‌ها از عدد LSD بیش‌تر است، یا حروف متفاوت دارند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, the means whose difference is greater than the LSD value, or have different letters, are significantly different at the 5% probability level.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

براساس نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش نوع و زمان پرایمینگ (شکل ۲ الف)، روند تغییر درصد جوانه‌زنی بذرهای نخود در سطوح مختلف پرایمینگ و زمان پرایمینگ یکسان نبود. کم‌ترین درصد جوانه‌زنی در این شرایط در تیمار پرایمینگ نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری در زمان ۶ ساعت به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با نانو ذره روی ۴۰ تا ۶۰ نانومتری و هیدروپرایم در زمان ۶ ساعت نداشت. سایر تیمارهای پرایمینگ بذر به غیر از نانوذره روی ۴۰ تا ۶۰ نانومتری در زمان ۲۴ ساعت از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. اما از نظر عددی زمان‌های پرایمینگ ۱۲ و ۲۴ ساعت در تیمار پرایمینگ نانو ذرات روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری و زمان پرایمینگ ۲۴ ساعت در تیمار هیدروپرایم دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بودند. به نظر می‌رسد که تنش شوری با ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی، که به ترتیب مانع جذب آب و اختلال در فعالیت‌های متابولیک ضروری برای جوانه‌زنی می‌شود، به طور معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (اوکارلی[1]، ۲۰۲۰). عدم تفاوت معنی‌دار تیمارهای پرایمینگ بذر نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری با تیمار هیدروپرایم در زمان‌های ۱۲ و ۲۴ ساعت نشان می‌دهد که احتمالاً عنصر روی در تحریک جوانه‌زنی در این تحقیق نقش معنی‌دار نداشته است و تحریک جوانه‌زنی در این شرایط بیش‌تر مربوط به نقش هیدروپرایم است. در این ارتباط بناویدز-مندوزا[2] و همکاران (۲۰۲۳) نیز موافق با یافته‌های این تحقیق گزارش نمودند که پرایمینگ بذر با نانوذره روی سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی نشده است.

سرعت جوانه‌زنی: بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، سطوح مختلف تنش شوری به طور معنی‌داری سرعت جوانه‌زنی بذرها را نسبت به تیمار شاهد (۱۵/۶ بذر جوانه‌زده در روز) کاهش دادند. کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی در این شرایط مربوط به تیمار تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار با ۱۰/۴ بذر جوانه‌زده در هر روز بود. تیمارهای پرایمینگ بذر اثر معنی‌داری در افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهای نخود نداشتند (جدول ۲). تنش شوری با القاء تنش اسمزی جذب آب را محدود کرده و باعث بروز سمیت یونی می‌شود. در نتیجه فعالیت‌های آنزیمی ضروری برای جوانه‌زنی را مختل نموده و سرعت جوانه‌زنی بذرها را کاهش می‌دهد (بالاسبرامانیام[3] و همکاران، ۲۰۲۳).

کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی با افزایش شدت تنش شوری در رقم‌های مختلف نخود توسط قاسمی-گلذانی و روزبه[4] (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است. در ارتباط با عدم تاثیر معنی‌دار تیمارهای پرایمینگ بذر بر سرعت جوانه‌زنی، لی[5] و همکارن (۲۰۲۱) گزارش نمودند که ممکن است تیمارهای پرایمینگ با نانوذره روی بر دیگر جنبه‌های کیفیت بذر از جمله نمو گیاهچه تاثیر داشته باشند.

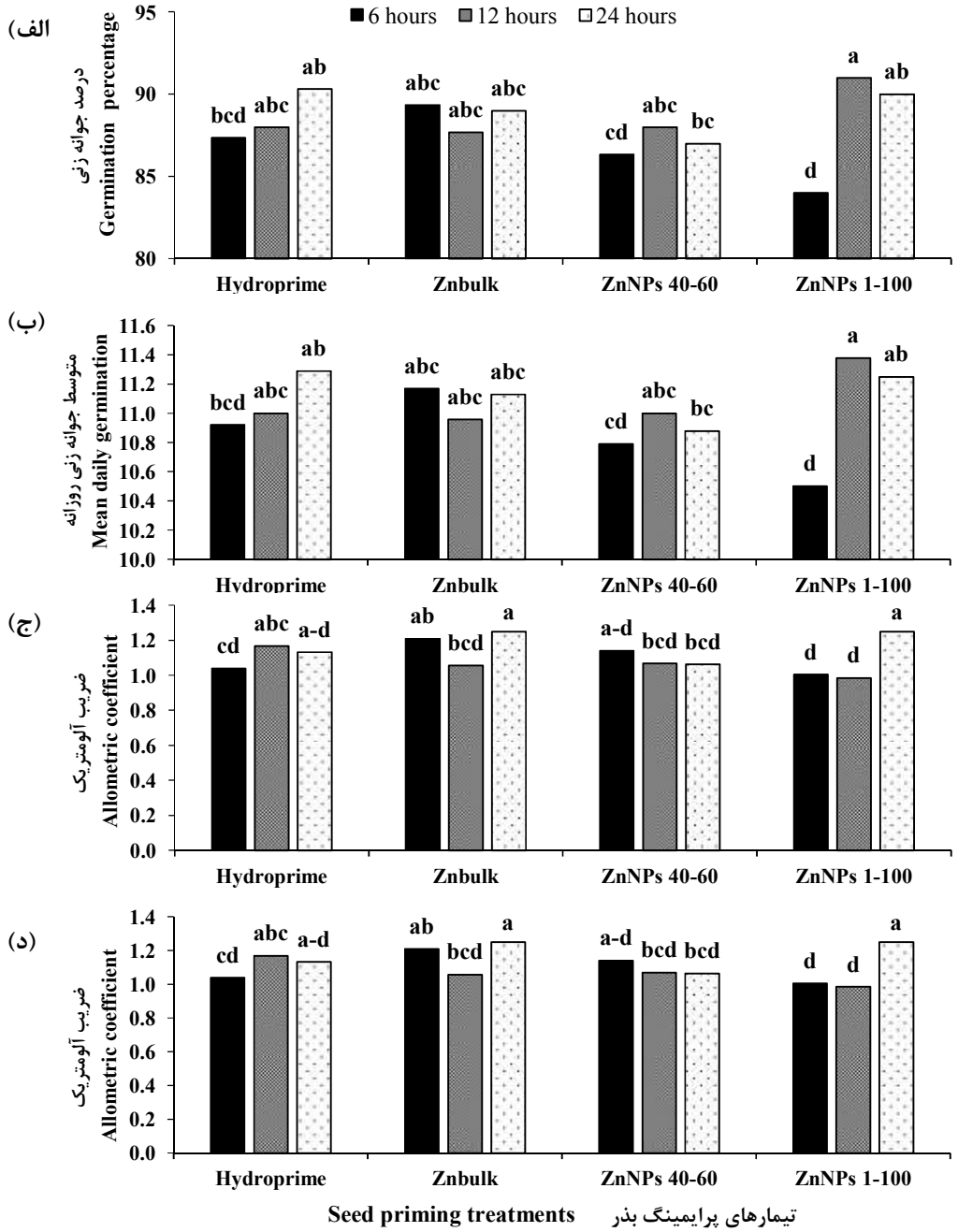
متوسط زمان جوانه‌زنی: متوسط زمان جوانه‌زنی با افزایش شدت تنش شوری به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین افزایش معنی‌دار متوسط زمان جوانه‌زنی در این شرایط در تیمارهای تنش شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۲/۳۳ و ۲/۳۹ روز دیده شد (جدول ۳). این نتایج موافق با یافته‌های کوکیزگین[6] و همکاران (۲۰۲۵) و دادسگلو[7] و همکاران (۲۰۲۰) است. است. این محققین نیز افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی رقم‌های مختلف نخود را با افزایش شدت تنش شوری گزارش نمودند. افزایش معنی‌دار متوسط زمان جوانه‌زنی در غلظت‌های بالاتر نمک را می‌توان به کاهش پتانسیل آب نسبت داد که مانع از جذب آب توسط بذر شده و شروع فرآیندهای متابولیکی لازم برای جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (بناجاود[8] و همکاران، ۲۰۲۲).

متوسط جوانه‌زنی روزانه: مقایسه میانگین‌ها نشان دادند که متوسط جوانه‌زنی روزانه حدود ۱۲/۳ عدد بذر

[1] Uçarlı
[2] Benavides-Mendoza
[3] Balasubramaniam
[4] Ghassemi-Golezani & Roozbeh
[5] Li
[6] Cokkizgin
[7] Dadaşoğlu
[8] Benadjaoud

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

در هر روز بود (جدول ۳). سطوح مختلف تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار این صفت شدند. بیش‌ترین کاهش متوسط جوانه‌زنی روزانه نخود مربوط به تیمار تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار با ۸/۵۶ بذر جوانه‌زده در هر روز (۳۰ درصد کاهش) بود.



شکل ۲. مقایسه میانگین برهمکنش روش‌هی و زمان‌های مختلف پرایمینگ بذر بر برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی بذر نخود. ستون‌ها با حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. Mean comparison of interaction of different seed priming methods and times on some characteristics related to chickpea seed germination quality. Columns with the same letters do not differ significantly at the 5% probability level based on LSD test.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

جدول ۴. مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت بذر نخود تحت تاثیر انواع روش‌های پرایمینگ بذر

Table 4. Mean comparison of some traits related to chickpea seed quality under different priming methods

تیمارهای پرایمینگ Priming treatments	وزن تر گیاهچه Seedling F.W.	وزن خشک گیاهچه Seedling D.W.	وزن خشک ریشه‌چه Root D.W.	طول ساقه‌چه Shoot length	وزن تر ساقه‌چه Shoot F.W.	وزن خشک ساقه‌چه Shoot D.W.	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling vigor weight index
	mg			mm	mg		
Control*	171	38.8	16.6	3.24	73.6	22.1	3576
Hydroprime	207[c]	41.5[b]	19.6[b]	4.31[b]	89.1[c]	21.9[b]	3779[b]
Zn-bulk	217[bc]	41.1[b]	19.0[b]	4.78[b]	93.3[bc]	22.1[b]	3769[b]
Zn-NPs 40-60	225[ab]	42.7[b]	20.4[b]	4.87[b]	96.9[ab]	22.3[b]	3845[b]
Zn-NPs 1-100	238[a]	48.2[a]	23.5[a]	5.10[a]	102.1[a]	24.6[a]	4422[a]
LSD (0.05)	14.3	3.97	2.50	0.310	6.13	1.83	397

*داده‌های مربوط به تیمار عدم پرایم تجزیه نشده و صرفاً جهت مقایسه ارائه شده است.

*Data from the non-prime treatment were not analyzed and are provided for comparison purposes only.

در هر ستون میانگین‌هایی که تفاوت آن‌ها از عدد LSD بیش‌تر است، یا حروف متفاوت دارند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, the means whose difference is greater than the LSD value, or have different letters, are significantly different at the 5% probability level.

این یافته‌ها با مطالعات اخیر که نشان می‌دهند تنش شوری با تأثیر بر مسیرهای فیزیولوژیک و مولکولی دخیل در جوانه‌زنی بذر، جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد و سرعت جوانه‌زنی را در گیاهان زراعی مختلف، از جمله نخود، کاهش می‌دهد، همسو است (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۲۳). درک این سازوکارها برای توسعه راهبردهایی مانند پرایمینگ بذر یا اصلاح نژاد برای تحمل به شوری به منظور کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری بر استقرار گیاه زراعی بسیار مهم است. مقایسه میانگین برهمکنش روش پرایمینگ بذر × زمان پرایمینگ بذر (شکل ۲ ب) نشان داد، روند تغییرات این صفت با توجه به نحوه محاسبه، مشابه درصد جوانه‌زنی است. زمان ۶ ساعت تیمارهای پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ و ۴۰ تا ۶۰ نانومتری و هیدروپرایم کم‌ترین متوسط جوانه‌زنی روزانه را داشتند. سایر تیمارهای پرایمینگ بذر در زمان‌های مختلف با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. اما از نظر عددی تیمارهای پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری در زمان‌های ۱۲ و ۲۴ ساعت و هیدروپرایم در زمان ۲۴ ساعت برتر بودند.

شاخص وزنی بنیه گیاهچه: سطوح مختلف تنش شوری به طور معنی‌داری شاخص وزنی بنیه گیاهچه را کاهش دادند (جدول ۳). در این شرایط بیش‌ترین کاهش بنیه وزنی گیاهچه مربوط به تیمار تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار با ۶۶ درصد کاهش نسبت به تیمار عدم تنش شوری بود (جدول ۳). شاخص وزنی بنیه گیاهچه در شرایط عدم پرایمینگ بذر ۳۵۷۶ بود. با انجام هیدروپرایم این مقدار به ۳۷۷۹ افزایش یافت. بین تیمارهای پرایمینگ بذر، تیمار نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری بیش‌ترین اثر مثبت و معنی‌دار را بر بهبود شاخص بنیه وزنی گیاهچه (افزایش ۲۵ درصدی) نسبت به تیمار عدم پرایمینگ بذر داشت. بین تیمارهای پرایمینگ بذر با روی بالک و نانوذره روی ۴۰ تا ۶۰ نانومتری و هیدروپرایم تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص وزنی بنیه گیاهچه وجود نداشت (جدول ۴). موافق با یافته‌های این تحقیق، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که پرایمینگ بذر با نانوذرات روی، بنیه گیاهچه، تجمع زیست‌توده و تحمل به تنش را به طور مؤثرتری نسبت به روش‌های پرایمینگ مرسوم مانند هیدروپرایمینگ یا تیمارهای روی بالک بهبود می‌دهد (دنیا و کربونه[2]، ۲۰۲۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش ۲۵ درصدی

[1] Wang

[2] Donia & Carbone

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

جدول ۵. مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت بذر نخود تحت تاثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ بذر

Table 5. Mean comparison of some traits related to chickpea seed quality under different levels of priming duration

زمان پرایمینگ بذر Seed priming time	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر گیاهچه Seedling F.W.	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	وزن تر ساقه‌چه Shoot fresh weight	طول ساقه‌چه Shoot length	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling vigor length index
h	cm		mg		cm	
Control	6.64	171	22.1	73.6	3.24	613
6	7.60[b]	212[b]	21.7[b]	91.0[b]	4.51[b]	688[b]
12	7.91[a]	226[a]	22.8[ab]	97.3[a]	4.85[ab]	728[a]
24	7.92[a]	227[a]	23.7[a]	97.8[a]	4.94[a]	733[a]
LSD (0.05)	0261	12.3	1.59	5.31	0.356	26.8

*داده‌های مربوط به تیمار عدم پرایم تجزیه نشده و صرفاً جهت مقایسه ارائه شده است.

*Data from the non-prime treatment were not analyzed and are provided for comparison purposes only.

در هر ستون میانگین‌هایی که تفاوت آن‌ها از عدد LSD بیش‌تر است، یا حروف متفاوت دارند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند.

In each column, the means whose difference is greater than the LSD value, or have different letters, are significantly different at the 5% probability level.

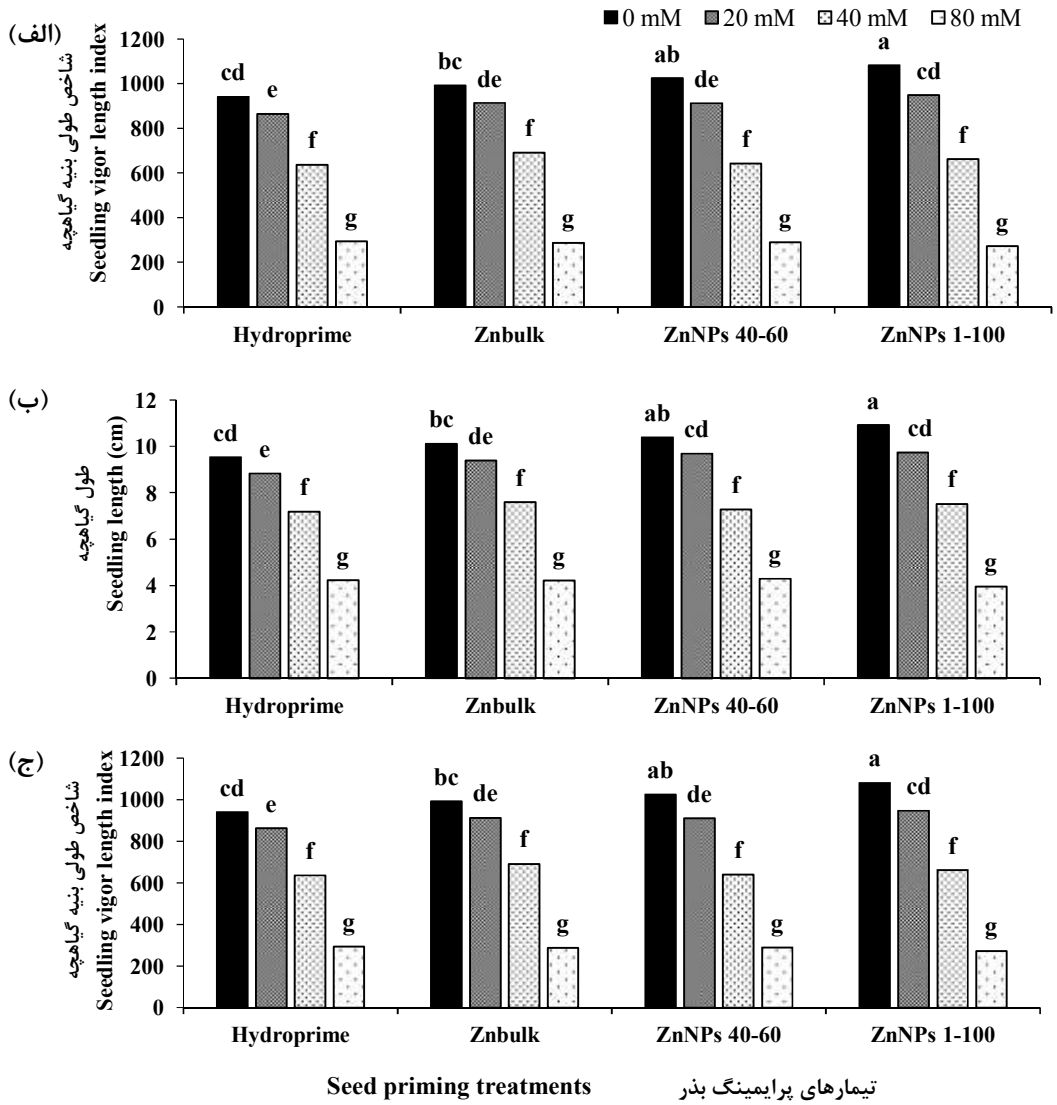
شاخص وزنی بنیه گیاهچه در این مطالعه، این یافته‌ها را تأیید می‌کند و پتانسیل پرایمینگ نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری را به عنوان یک روش برای افزایش شاخص وزنی بنیه گیاهچه نشان می‌دهد.

شاخص طولی بنیه گیاهچه: شاخص طولی بنیه گیاهچه در شرایط عدم پرایمینگ بذر ۶۱۳ بود (جدول ۵). اعمال زمان‌های مختلف پرایمینگ بذر سبب تغییر معنی‌دار در شاخص طولی بنیه گیاهچه شدند. در این شرایط تیمارهای پرایمینگ بذر به مدت ۲۴ و ۱۲ ساعت به ترتیب با شاخص طولی بنیه گیاهچه ۷۳۳ و ۷۲۸ از مدت زمان ۶ ساعت با شاخص طولی بنیه گیاهچه ۶۸۸ به طور معنی‌داری برتر بودند (جدول ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش شوری و روش‌های پرایمینگ بذر (شکل ۳ج)، روند تغییرات شاخص طولی بینه گیاهچه در سطوح مختلف تنش شوری و روش‌های پرایمینگ بذر یکسان نبود. این مساله بیش‌تر در برهمکنش روش‌های پرایمینگ بذر در شرایط عدم تنش شوری و شدت ۲۰ میلی‌مولار تنش شوری دیده شد. به نظر می‌رسد که اثرات تیمارهای پرایمینگ بذر در شدت‌های تنش شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار به حداقل می‌رسد. بنابراین در این سطوح تنش شوری، بیش‌تر اثرات منفی تنش شوری قابل مشاهده است. اما در سطوح عدم تنش شوری و ۲۰ میلی‌مولار تنش شوری، تیمارهای پرایمینگ نیز اثرات مثبت خود را نشان می‌دهند و باعث معنی‌دار شدن برهمکنش شده‌اند. در این شرایط بالاترین شاخص طولی بنیه گیاهچه در تیمار نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری و عدم تنش شوری دیده شد. بنیه بذر یک عامل تعیین‌کننده مهم در کیفیت بذر است که نشان‌دهنده توانایی بذر در جوانه‌زنی سریع و یکنواخت و ایجاد گیاهچه‌های قوی در طیف وسیعی از شرایط محیطی از جمله تنش شوری می‌باشد (حمید[1] و همکاران، ۲۰۲۵؛ رید[2] و همکاران، ۲۰۲۲). یافته‌های این تحقیق نشان دادند احتمالاً پرایمینگ بذر یک راهبرد مناسب برای بهبود استقرار نخود در خاک‌های با شوری ملایم (≤۲۰ میلی‌مولار) است، اما در محیط‌های با شوری بالا (≤۴۰ میلی‌مولار) بی‌اثر است.

ضریب آلومتریک: تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار سبب کاهش معنی‌دار ضریب آلومتریک (۱۶ درصد) نسبت به تیمار عدم تنش شوری شد. تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار تنش شوری اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). معنی‌دار شدن برهمکنش تیمارهای

[1] Hameed
[2] Reed

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]



شکل ۳. مقایسه میانگین برهمکنش روش‌های مختلف پرایمینگ بذر و سطوح مختلف تنش شوری بر برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی بذر نخود. ستون‌ها با حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 3. Mean comparison of interaction of different levels salinity and seed priming treatments on some characteristics related to the germination quality of chickpea seeds. Columns with the same letters do not differ significantly at the 5% probability level based on LSD test.

روش و زمان پرایمینگ بذر (شکل ۲ ج) نشان داد که روند تغییر ضریب آلومتریک در سطوح این دو فاکتور یکسان نبوده است. بیش‌ترین ضریب آلومتریک در این شرایط در تیمار نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری و روی بالک در زمان ۲۴ ساعت به دست آمد. پرایمینگ بذر با عناصر غذایی از جمله عنصر روی مخصوصاً به فرم نانوذره، به دلیل بهبود افزایش فراهمی زیستی و راندمان جذب، ممکن است مسیرهای فیزیولوژیک تنظیم کننده تخصیص کربن و هماهنگی رشد بین ریشه‌چه و ساقه‌چه را در مقایسه با تیمارهای روی بالک یا عدم پرایمینگ بذر به طور مؤثرتری تعدیل کند (سن و داس[1]، ۲۰۲۴). بنابراین، تنظیمات آلومتریک ناشی از پرایمینگ ممکن است نشان‌دهنده یک پاسخ تطبیقی باشد که معماری گیاه را در شرایط محیطی مختلف بهینه می‌کند.

[1] Sen & Das

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

طول و وزن گیاهچه: براساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ و تنش شوری (شکل ۳ ب)، سطوح مختلف تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار طول گیاهچه نسبت به تیمار شاهد (عدم تنش شوری) شدند. در غلظت ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار تنش شوری، روند کاهش طول گیاهچه در تیمارهای پرایمینگ با روی بالک، نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ و ۴۰ تا ۶۰ نانومتری مشابه تیمار هیدروپرایم بود، اما در تیمار عدم تنش شوری و تنش شوری ۲۰ میلی‌مولار تیمارهای پرایمینگ با روی بالک، نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ و ۴۰ تا ۶۰ نانومتری نسبت به تیمار هیدروپرایم سبب افزایش طول گیاهچه شدند. بیش‌ترین افزایش طول گیاهچه در این شرایط در تیمار عدم تنش شوری و پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری بود (۱۵ درصد). اثر مثبت نانوذرات روی می‌تواند به دلیل افزایش دسترسی به روی و انتقال موثرتر آن به بذر و گیاهچه در مقایسه با فرم بالک آن و تیمار هیدروپرایم باشد، که نقش کلیدی در متابولیسم و فعال‌سازی آنزیم‌های مرتبط با رشد گیاهچه دارد (دنیا و کاربونه، ۲۰۲۳). عدم تاثیر مثبت تیمارهای پرایمینگ بذر در شدت‌های ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار تنش شوری می‌تواند به دلیل چالش‌های شدید اسمزی و سمیت یونی باشد (وحید[1] و همکاران، ۲۰۲۴؛ بالاسبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

طول گیاهچه در شرایط عدم پرایمینگ بذر ۶/۶۴ سانتی‌متر بود. بذرهای پرایم شده در زمان‌های ۱۲ و ۲۴ ساعت به طور معنی‌داری طول گیاهچه بیش‌تری نسبت به زمان ۶ ساعت (۷/۶۰ سانتی‌متر) و عدم پرایمینگ بذر (۶/۶۴ سانتی‌متر) داشتند. بین زمان‌های پرایمینگ ۱۲ و ۲۴ ساعت تفاوت معنی‌داری از نظر طول گیاهچه وجود نداشت (جدول ۵). افزایش معنی‌دار طول گیاهچه در مدت زمان‌های پرایمینگ ۱۲ و ۲۴ ساعت در مقایسه با ۶ ساعت را می‌توان به فعال‌تر شدن فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک در طول پرایمینگ بهینه بذر نسبت داد. پرایمینگ بذر به مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت احتمالاً امکان فعال شدن آنزیم‌های ضروری برای جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه، مانند آلفا-آمیلاز، که تجزیه نشاسته و دسترسی به انرژی را تسهیل می‌کند، فراهم می‌کند (دویکا[2] و همکاران، ۲۰۲۱؛ فیضان[3] و همکاران، ۲۰۲۴). این فرآیندها احتمالاً در مدت زمان پرایمینگ ۶ ساعت کم‌تر فعال می‌شوند و در نتیجه رشد گیاهچه نسبتاً کاهش می‌یابد. عدم وجود تفاوت معنی‌دار در طول گیاهچه بین تیمارهای پرایمینگ ۱۲ و ۲۴ ساعت نشان می‌دهد که احتمالاً مزایای فیزیولوژیک پرایمینگ پس از مدت زمان مشخصی به حالت ثابت می‌رسد. پس از اینکه بذرها فعال‌سازی متابولیک لازم را انجام دادند (معمولاً ظرف ۱۲ ساعت در شرایط بهینه)، تمدید دوره پرایمینگ مزایای رشدی بیش‌تری را به همراه ندارد (جاتانا[4] و همکاران، ۲۰۲۴). این پدیده با مطالعات قبلی سازگار است که نشان می‌دهد یک بازه زمانی بهینه برای پرایمینگ بذر وجود دارد که پس از آن بهبود بیش‌تری در بنیه گیاهچه مشاهده نمی‌شود (کاریلو-رچه[5] و همکاران، ۲۰۲۱).

تیمار۸۰ میلی‌مولار تنش شوری سبب بیش‌ترین کاهش وزن تر گیاهچه (۴۷ درصد) نسبت به تیمار عدم تنش شوری (۲۸۵ میلی‌گرم در هر گیاهچه) شد (جدول ۳). تیمارهای پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ و ۴۰ تا ۶۰ نانومتری به ترتیب با ۲۳۸ و ۲۲۵ میلی‌گرم در هر گیاهچه سبب افزایش معنی‌دار وزن تر گیاهچه نسبت به تیمار هیدروپرایم و عدم پرایم بذر به ترتیب با ۲۰۷ و ۱۷۱ میلی‌گرم در هر گیاهچه شدند (جدول ۴). تیمارهای زمان پرایمینگ بذر ۱۲ و ۲۴ ساعت سبب افزایش معنی‌دار وزن تر گیاهچه نسبت به زمان ۶ ساعت و عدم پرایمینگ بذر (به ترتیب ۲۱۲ و ۱۷۱ میلی‌گرم در هر گیاهچه) شدند، اما تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های ۱۲ و ۲۴ ساعت پرایمینگ دیده نشد (جدول ۵).

تیمار نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری با ۴۸/۲ میلی‌گرم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه نسبت به تیمار هیدروپرایم و عدم پرایمینگ بذر به ترتیب با ۴۱/۵ و ۳۸/۸ میلی‌گرم در هر گیاهچه شد

[1] Waheed

[2] Devika
[3] Faizan
[4] Jatana
[5] Carrillo-Reche

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

(جدول ۴). وزن تر گیاهچه در تست‌های جوانه‌زنی تحت تنش شوری، علاوه بر ارزیابی کیفیت جوانه‌زنی، می‌تواند به عنوان یک شاخص مهم جهت غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم مورد استفاده قرار گیرد، زیرا گیاهچه‌هایی که وزن تر بیش‌تری حفظ می‌کنند، معمولاً از توانایی بالاتری در مقابله با افت اسمزی و آسیب یونی برخوردارن (آگاروال[1] و همکاران، ۲۰۲۴). در شدت تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار کاهش وزن تر گیاهچه بیانگر کاهش جذب آب و محدودیت در رشد و کاهش وزن خشک نیز نشان دهنده کاهش سنتز مواد (به ویژه مواد ذخیره‌ای و ساختاری) است که به طور عمده از اختلال در عملکرد آنزیم‌ها و محدودیت تولید انرژی و متابولیت‌ها در شرایط تنش شوری شدید ناشی می‌شود (وحید و همکاران، ۲۰۲۴؛ حبیبی[2] و همکاران، ۲۰۲۴). چنین افت شدیدی، نشانه حساسیت بالای ژنوتیپ مورد مطالعه به تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار و ناتوانی در مقابله با آثار مخرب آن است.

طول و وزن ریشه‌چه: سطوح ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه نسبت به تیمار عدم تنش شوری شدند. افزایش طول ریشه‌چه در سطح ۴۰ میلی‌مولار تنش شوری به طور معنی‌داری از سطوح ۲۰ و ۸۰ میلی‌مولار بیش‌تر بود (جدول ۳). در شوری کم تا متوسط، رشد ریشه تحریک می‌شود تا جذب آب و مواد غذایی را افزایش دهد. با این حال، در سطوح بالاتر تنش شوری، رشد ریشه معمولاً کاهش می‌یابد (لو و فریک[3]، ۲۰۲۳). این سازوکار به گیاهچه‌ها اجازه می‌دهد حجم بیش‌تری از خاک را برای کاهش کمبود آب ناشی از تنش شوری جستجو کند (ژو[4] و همکاران، ۲۰۲۳). در این تحقیق در شدت تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار رشد ریشه در مقایسه با شدت تنش شوری ۴۰ میلی‌مولار کاهش و در مقایسه با عدم تنش شوری، به طور معنی‌دار افزایش یافت. تیمارهای پرایمینگ بذر اثر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه نداشتند (جدول ۲). عدم مشاهده اثر معنی‌دار تیمارهای پرایمینگ بذر بر طول ریشه‌چه می‌تواند به این دلیل باشد که مدت زمان ارزیابی طول ریشه‌چه در آزمایش‌های جوانه‌زنی کوتاه بوده و اثرات پرایمینگ بر طول ریشه‌چه در بازه‌های زمانی طولانی‌تر یا مراحل بعدی رشد آشکار شود.

روند تغییرات وزن تر ریشه‌چه در زمان‌های مختلف و تیمارهای پرایمینگ بذر یکسان نبود. بیش‌ترین وزن تر ریشه‌چه در این شرایط در تیمارهای ۲۴ ساعت روی بالک و نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری دیده شد (شکل ۲د). تیمارهای تنش شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌چه (به ترتیب با ۲۸ و ۴۶ درصد) نسبت به تیمار عدم تنش شوری شدند (جدول ۳). وزن خشک ریشه‌چه در تیمار عدم پرایمینگ بذر ۱۶/۶ میلی‌گرم در هر گیاهچه بود (جدول ۴). تیمارهای هیدروپرایم، روی بالک و نانوذره روی ۴۰ تا ۶۰ نانومتر به ترتیب با ۱۹/۶، ۱۹ و ۲۰/۴ میلی‌گرم در هر گیاهچه از نظر تاثیر بر وزن خشک ریشه‌چه با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند. تیمار پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌چه (۲۳/۵ میلی‌گرم در هر گیاهچه) نسبت به دیگر تیمارهای پرایمینگ بذر شد (جدول ۴). پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری احتمالاً با افزایش جذب روی و تقویت فعالیت آنزیم‌ها سبب بهبود فرآیندهای متابولیک و تقسیم سلولی در ریشه‌چه و در نهایت افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌چه نسبت به دیگر تیمارهای پرایمینگ بذر شده است (دنیا و کربونه، ۲۰۲۳).

طول و وزن ساقه‌چه : نتایج مقایسه میانگین طول ساقه‌چه (جدول ۳) نشان داد، طول ساقه‌چه در شرایط عدم تنش شوری ۷/۶۴ سانتی‌متر بود. سطوح مختلف تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار این صفت شدند. بیش‌ترین کاهش طول ساقه‌چه در تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار (۸۵ درصد) دیده شد. میانگین طول ساقه‌چه در شرایط عدم پرایمینگ بذر حدود ۳/۲۴ سانتی‌متر بود. تیمار پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰

[1] Aggarwal
[2] Habibi
[3] Lu and Fricke
[4] Zhou

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

نانومتری سبب افزایش معنی‌دار طول ساقه‌چه (۵/۱۰ سانتی‌متر) نسبت به تیمار هیدروپرایم (۴/۳۱ سانتی‌متر) شد (جدول ۴). زمان پرایمینگ ۲۴ ساعت از ۶ ساعت در افزایش طول ساقه‌چه برتر بود، اما تفاوت معنی‌داری با زمان ۱۲ ساعت نداشت (جدول ۵). افزایش معنی‌دار طول ساقه‌چه در تیمارهای پرایمینگ بذر به ویژه با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری، نشان دهنده نقش حیاتی این نانوذرات در بهبود فرآیندهای رشد اولیه گیاه است. نانوذرات روی با افزایش جذب عنصر روی، که یک کوفاکتور مهم برای فعالیت بسیاری از آنزیم‌هاست، موجب تحریک تقسیم سلولی و رشد ساقه می‌شوند. علاوه بر این، روی تأثیر مستقیمی بر تنظیم هورمون‌های رشد مانند اکسین دارد که به افزایش طول ساقه‌چه کمک می‌کند (دنیا و کربونه، ۲۰۲۳؛ سفشکن[1] و همکاران، ۲۰۲۵). وزن تر و خشک ساقه‌چه در تیمار عدم تنش شوری به ترتیب ۱۲۳ و ۲۹/۵ میلی‌گرم در هر گیاهچه بود. سطوح تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار این دو صفت شدند. بیش‌ترین کاهش مقدار این دو صفت در تیمار تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۴۷ و ۵۴ درصد دیده شد (جدول ۳). تیمارهای پرایمینگ بذر سبب افزایش وزن تر و خشک ساقه‌چه نسبت به تیمار عدم پرایمینگ بذر شدند. تیمار پرایمینگ بذر با نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری سبب بیش‌ترین افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ساقه‌چه نسبت به تیمار هیدروپرایم شد (جدول ۴). وزن تر و خشک ساقه‌چه در شرایط عدم پرایمینگ بذر به ترتیب ۷۳/۶ و ۲۲/۱ میلی‌گرم در هر گیاهچه بود. تیمارهای پرایمینگ بذر ۱۲ و ۲۴ ساعت از نظر افزایش وزن تر (به ترتیب ۹۱/۰ و ۹۷/۳ میلی‌گرم در هر گیاهچه) و وزن خشک ساقه‌چه (به ترتیب ۲۱/۷ و ۲۲/۸ میلی‌گرم در هر گیاهچه) با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند، ولی به طور معنی‌داری از تیمار پرایمینگ ۶ ساعت برتر بودند (جدول ۵). عملکرد بهتر تیمارهای ۱۲ و ۲۴ ساعت نسبت به ۶ ساعت نشان می‌دهد که مدت زمان کوتاه‌تر ممکن است جهت فعال شدن فرآیندهای بیوشیمیایی مانند جذب عناصر مغذی، فعالیت آنزیم‌ها و تقسیم سلولی کافی نباشد. بنابراین، مدت زمان پرایمینگ باید به اندازه‌ای باشد که سازوکارهای رشدی فعال شوند (واکاس[2] و همکاران، ۲۰۱۹).

نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه: تیمارهای تنش شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار به ترتیب با نسبت ۰/۸۹۲ و ۲/۹۵۳، سبب افزایش معنی‌دار نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در مقایسه با تیمار عدم تنش شوری (۰/۳۶۵) شدند (جدول ۳). تیمارهای پرایمینگ بذر بر نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۲). افزایش نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطوح بالاتر شوری، بیانگر اولویت دادن گیاه به توسعه ریشه‌ها برای افزایش جذب آب و کاهش تنش ناشی از شوری است. این پاسخ نوعی انعطاف‌پذیری رشدی محسوب می‌شود که گیاه برای حفظ تعادل آبی سلول و عملکرد فیزیولوژیک بهتر تحت تنش شوری نشان می‌دهد. علاوه بر این، افزایش این نسبت ممکن است ناشی از مهار نسبی رشد ساقه بر اثر تنش باشد (البسته[3] و همکاران، ۲۰۰۸؛ زو[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

گیاهچه غیر طبیعی: مقایسه میانگین برهمکنش روش پرایمینگ بذر و تنش شوری نشان داد که در تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر با افزایش شدت تنش شوری روند تغییرات گیاهچه‌های غیرطبیعی مشابه نبود. اما به طور کلی بیش‌ترین گیاهچه‌های غیر طبیعی در تیمار هیدروپرایم در سطح ۸۰ میلی‌مولار تنش شوری با ۲۸/۸۹ عدد دیده شد (شکل ۳ ج). تیمارهای پرایمینگ بذر در سطح تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار با روی بالک و نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ و ۴۰ تا ۶۰ نانومتری نسبت به سطح تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار و هیدروپرایم به طور معنی‌داری کاهش یافت. تنش شوری با القاء عدم تعادل اسمزی و سمیت یونی، هموستاز سلولی را مختل می‌کند و در مجموع سبب وقوع ناهنجاری‌های ریخت‌شناسی در طول جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه

[1] Safshekan

[2] Waqas

[3] Albacete

[4] Zou

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

می‌شود (هوالپا-رامیرز[1] و همکاران، ۲۰۲۴؛ عطا[2] و همکاران، ۲۰۲۳). تعداد بالای گیاهچه‌های غیرطبیعی در سطح تنش شوری ۸۰ میلی‌مولار، شدت این اختلالات فیزیولوژیک را تحت تنش شدید شوری نشان می‌دهد. پرایمینگ بذر باعث فعال شدن سمانه‌های دفاع پاداکسیدانی، ترمیم آسیب سلولی و تثبیت غشاءها قبل از جوانه‌زنی می‌شود و اثرات نامطلوب تنش اکساینده ناشی از شوری را کاهش می‌دهد (مک‌دونالد و موهان[3]، ۲۰۲۵). اثربخشی معنی‌دار پرایمینگ بذر مبتنی بر عنصر روی، پتانسیل ریزمغذی‌ها از جمله عنصر روی را در راهبردهای پرایمینگ بذر نشان می‌دهد. نانوذرات، فراهمی زیستی و جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهند و در نتیجه در مقایسه با هیدروپرایمینگ معمولی، مسیرهای متابولیک و محافظتی را در طول جوانه‌زنی به طور مؤثرتری پشتیبانی می‌کنند. به طور کلی، این یافته‌ها اهمیت پرایمینگ بذر به ویژه با فرمولاسیون‌های مبتنی بر عنصر روی را به عنوان یک رویکرد مؤثر برای کاهش رشد غیرطبیعی گیاهچه و بهبود استقرار گیاهچه در شرایط تنش شوری برجسته می‌کنند (دنیا و کربونه، ۲۰۲۳؛ شلار و همکاران، ۲۰۲۴).

نتیجه‌گیری

تنش شوری اثر منفی معنی‌دار بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه و افزایش تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی داشت. اما اثرات مثبت و معنی‌دار پرایمینگ بذر بیش‌تر روی بهبود رشد گیاهچه و در نتیجه کاهش تعداد گیاهچه‌های غیرطبیعی بود. اثرات مثبت پرایمینگ بذر بر بهبود رشد گیاهچه در شرایط عدم تنش شوری و تنش شوری ۲۰ میلی‌مولار معنی‌دار بود. در سطوح شوری بالا (۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار)، اثرات مثبت پرایمینگ کاهش یافت و رشد گیاهچه به شدت محدود شد. این نشان‌دهنده وجود یک آستانه برای کارایی پرایمینگ است. بین تیمارهای پرایمینگ بذر، نانوذره روی ۱ تا ۱۰۰ نانومتری و زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت در بهبود رشد گیاهچه و بنیه وزنی گیاهچه برتری داشتند.

بنابراین، به نظر می‌رسد پرایمینگ بذر با نانوذرات روی به عنوان روشی مؤثر برای بهبود استقرار و رشد اولیه نخود در شرایط شوری باشد. به طور کلی پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، بهینه‌سازی غلظت و اندازه نانوذرات، بررسی اثرات بلندمدت این تیمارها بر عملکرد مزرعه‌ای و ایمنی زیست محیطی و همچنین ارزیابی کارایی این روش در سایر گونه‌های زراعی و شرایط تنش‌های ترکیبی مورد توجه قرار گیرد.

[1] Hualpa-Ramirez
[2] Atta
[3] MacDonald & Mohan

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

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

همه نویسندگان به طور مساوی در مفهوم‌سازی مقاله و نگارش پیش‌نویس‌های اولیه و بعدی آن مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش، هیچ کمک مالی خاصی از سوی سازمان‌های تأمین‌کننده اعتبار در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مالی و تجهیزاتی دانشگاه رازی و شورای ملی نخود ایران قدردانی نمایند.

منابع References

Abass Nejad, A., Majnoun Hesseini, N., Tavakol Afshari, R., & Sharif Zadeh, F. (2009). An evaluation of the effect of changing the sowing time through seed priming on seed yield and yield components in two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science, 40(*1), 7-13. [In Persian]

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. *Crop Science, 13*(2), 227–232. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300020023x

Aggarwal, G., Edhigalla, P., Walia, P., Jindal, S., & Sandal, S. S. (2024). A method for screening salt stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss) at seedling stage. *Scientific Reports, 14*, 12705. https://doi.org/10.1038/s41598-024-63693-6

Albacete, A., Ghanem, M. E., Martínez-Andújar, C., Acosta, M., Sánchez-Bravo, J., Martínez, V., Lutts, S., Dodd, I. C., & Pérez-Alfocea, F. (2008). Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany, 59*(15), 4119–4131. https://doi.org/10.1093/jxb/ern251

Alen, S. G., Dobrenz, A. K., Schonhorst, M. H., & Stoner, J. E. (1985). Heritability of NaCl tolerance in germination of alfalfa seed. *Journal of Agronomy, 77*(1), 99–101. https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700010023x

Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D. J., Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, U. C., & Jespersen, D. (2023). Impacts of

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

salinity stress on crop plants: Improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1241736. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736

Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants, 12*(12), 2253. https://doi.org/10.3390/plants12122253

Benadjaoud, A., Dadach, M., El-Keblawy, A., & Mehdadi, Z. (2022). Impacts of osmopriming on mitigation of the negative effects of salinity and water stress in seed germination of the aromatic plant *Lavandula stoechas* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 31*, 100407. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100407

Benavides-Mendoza, A., Betancourt-Galindo, R., & Francisco-Francisco, N. (2023). Impact of $ZnSO_4$- and ZnO nanoparticles on seed germination and seedling growth of Lettuce. *Phyton, 92*(6), 1831–1840. https://doi.org/10.32604/phyton.2023.028085

Bruggink, G. T., Ooms, J. J. J., & Van der Toorn, P. (1999). Induction of longevity in primed seeds. *Seed Science Research, 9*(1), 49–53. https://doi.org/10.1017/S0960258599000057

Carrillo-Reche, J., Newton, A. C., & Quilliam, R. S. (2021). Using seed respiration as a tool for calculating optimal soaking times for 'on-farm' seed priming of barley (*Hordeum vulgare*). *Seed Science Research, 31*(2), 116–124. https://doi.org/10.1017/S0960258521000095

Cokkizgin, A., Cokkizgin, H., & Girgel, U. (2025). Salinity stress: comparative effects of sodium and potassium salts on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) germination and vigor. *Legume Research, 48*(6), 944–950. https://doi.org/10.18805/LRF-848

Dadaşoğlu, E., Ekinci, M., & Yıldırım, E. (2020). Effects of salt stress on seed germination of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51*(1), 53–62. https://doi.org/10.17097/ataunizfd.596530

Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J., & Rakshit, A. (2021). Seed Priming: A potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 5*, 654001. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001

Donia, D. T., & Carbone, M. (2023). Seed priming with zinc oxide nanoparticles to enhance crop tolerance to environmental stresses. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(24), 17612. https://doi.org/10.3390/ijms242417612

Elkoca, E., Haliloglu, K., Esitken, A., & Ercisli, S. (2007). Hydro- and osmopriming improve chickpea germination. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 57*(3), 193–200. https://doi.org/10.1080/09064710600914087

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology, 9*(2), 373–409.

Faizan, M., Sharma, P., Sultan, H., Alam, P., Sehar, S., Rajput, V. D., & Hayat, S. (2024). Nano-priming: Improving plant nutrition to support the establishment of sustainable agriculture under heavy metal stress. *Plant Nano Biology, 10*, 100096. https://doi.org/10.1016/j.plana.2024.100096

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

Farooq, M., Hussain, M., Habib, M. M., Khan, M. S., Ahmad, I., Farooq, S., & Siddique, K. H. (2020). Influence of seed priming techniques on grain yield and economic returns of bread wheat planted at different spacings. *Crop and Pasture Science, 71*(8), 725–738. https://doi.org/10.1071/CP20065

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). The state of food security and nutrition in the world 2025. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Ghassemi-Golezani, K., & Roozbeh, B. (2011). Changes in seed quality of chickpea cultivars under salinity stress. *Research on Crops, 12*(3), 778–782.

Gul, J., & Shah, S. H. (2023). Screening of chickpea genotypes against salinity stress in Petri dish environment. *Pakistan Journal of Science, 75*(1), 1–8. https://doi.org/10.57041/pjs.v75i1.811

Habibi, N., Terada, N., Sanada, A., & Koshio, K. (2024). Alleviating salt stress in tomatoes through seed priming with polyethylene glycol and sodium chloride combination. *Stresses, 4*(2), 210–224. https://doi.org/10.3390/stresses4020012

Hameed, A., Hussain, S., Nisar, F., Rasheed, A., & Shah, S. Z. (2025). Seed priming as an effective technique for enhancing salinity tolerance in plants: mechanistic insights and prospects for saline agriculture with a special emphasis on halophytes. *Seeds, 4*(1), 14. https://doi.org/10.3390/seeds4010014

Hualpa-Ramirez, E., Carrasco-Lozano, E. C., Madrid-Espinoza, J., Tejos, R., Ruiz-Lara, S., Stange, C., & Norambuena, L. (2024). Stress salinity in plants: new strategies to cope with in the foreseeable scenario. *Plant Physiology and Biochemistry, 208*, 108507. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108507

International Seed Testing Association (ISTA). (2016). International rules for seed testing. Bassersdorf, Switzerland: ISTA.

Jarrar, H., El-Keblawy, A., Albawab, M., Ghenai, C., & Sheteiwy, M. (2024). Seed priming as a promising technique for sustainable restoration of dryland. *Restoration Ecology, 32*(6), e14182. https://doi.org/10.1111/rec.14182

Jatana, B. S., Grover, S., Ram, H., & Baath, G. S. (2024). Seed priming: molecular and physiological mechanisms underlying biotic and abiotic stress tolerance. *Agronomy, 14*(12), 2901. https://doi.org/10.3390/agronomy14122901

Jha, U., Singh, S., & Kumar, P. (2024). Unlocking the nutritional potential of chickpea: strategies for biofortification and enhanced multinutrient quality. *Frontiers in Plant Science, 15*, 1391496. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1391496

Johnson, R., & Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost-effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 162*, 247–257. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034

Kaushal, K., Rajani, K., Kumar, R. R., Ranjan, T., Kumar, A., Ahmad, M. F., Kumar, V., Kumar, V., & Kumar, A. (2024). Physio-biochemical responses and crop performance analysis in

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

chickpea upon botanical priming. *Scientific Reports, 14*(1), 16223. https://doi.org/10.1038/s41598-024-59878-8

Khadraji, A., Houasli, C., & Ghoulam, C. (2021). Effects of short and long-term hydro priming on germination stage and growth of some varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Biology and Crop Research, 5*(1), 1054.

Khan, M. O., Irfan, M., Muhammad, A., Ullah, I., Nawaz, S., Khalil, M. K., & Ahmad, M. (2022). A practical and economical strategy to mitigate salinity stress through seed priming. *Frontiers in Environmental Science, 10*, 991977. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.991977

Kotula, L., Clode, P. L., Jimenez, J. C., & Colmer, T. D. (2019). Salinity tolerance in chickpea is associated with the ability to 'exclude' Na from leaf mesophyll cells. *Journal of Experimental Botany, 70*(18), 4991–5002. https://doi.org/10.1093/jxb/erz241

Li, Y., Liang, L., Li, W., Ashraf, U., Ma, L., Tang, X., Pan, S., Tian, H., & Mo, Z. (2021). ZnO nanoparticle-based seed priming modulates early growth and enhances physio-biochemical and metabolic profiles of fragrant rice against cadmium toxicity. *Journal of Nanobiotechnology, 19*, 75. https://doi.org/10.1186/s12951-021-00820-9

Lu, Y., & Fricke, W. (2023). Salt stress—regulation of root water uptake in a whole-plant and diurnal context. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(9), 8070. https://doi.org/10.3390/ijms24098070

Lu, Y., Liu, H., Chen, Y., Zhang, L., Kudusi, K., & Song, J. (2022). Effects of drought and salt stress on seed germination of ephemeral plants in desert of northwest China. *Frontiers in Ecology and Evolution, 10*, 1026095. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1026095

MacDonald, M. T., & Mohan, V. R. (2025). Chemical seed priming: molecules and mechanisms for enhancing plant germination, growth, and stress tolerance. *Current Issues in Molecular Biology, 47*(3), 177–205. https://doi.org/10.3390/cimb47030177

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*(2), 176–177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Mombeni, M., Arekhi, S., & Arami, S. A. (2015). Changes in the salinity using remote sensing and GIS (Case study: South Khuzestan). *Desert Ecosystem Engineering, 4*(6), 27–34. [In Persian]

Mustafa, G., Chaudhari, S. K., Manzoor, M., Batool, S., Hatami, M., & Hasan, M. (2024). Zinc oxide nanoparticles mediated salinity stress mitigation in *Pisum sativum*: a physio-biochemical perspective. *BMC Plant Biology, 24*(1), 835. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05554-y

Nezami, A., Nabati, J., Kafi, M., Boroumand Rezazadeh, E., Solouki, H., & Azari, S. J. (2022). Preliminary selection of desi chickpea genotypes to introduce cold tolerant cultivars for autumn planting in cold regions. *Iranian Journal Pulses Research, 13*(2), 139–159. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2205-1037

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: Ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity, 128*(6), 450–459. https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2

Safshekan, S., Pourakbar, L., & Rahmani, F. (2025). The effect of Zn NPs on some growth, biochemical and anatomical factors of chickpea plant stem under UVB irradiation. *Plant Nano Biology, 12*, 100154. https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100154

Scott, S. J., Jones, R. A., & Willams, W. A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science, 24*(6), 1192–1199. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x

Sen, S. K., & Das, D. (2024). A sustainable approach in agricultural chemistry towards alleviation of plant stress through chitosan and nano-chitosan priming. *Discover Chemistry, 1*(1), 44. https://doi.org/10.1007/s44371-024-00046-2

Seyedi, M., Hamzei, J., Fathi, H. A. D. I., Bourbour, A. M. I. N., & Dadrasi, V. (2012). Effect of seed priming with zinc sulfate on germination characteristics and seedling growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Under salinity stress. *International Journal of Agriculture, 2*(3), 108.

Shelar, A., Singh, A. V., Chaure, N., Jagtap, P., Chaudhari, P., Shinde, M., Chaskar, M., Patil, R., & Nile, S. H. (2024). Nanoprimers in sustainable seed treatment: molecular insights into abiotic-biotic stress tolerance mechanisms for enhancing germination and improved crop productivity. *Science of The Total Environment, 943*, 175118. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175118

Shtaya, M. J., Al-Fares, H., Qubbaj, T., Abu-Qaoud, H., & Shraim, F. (2021). Influence of salt stress on seed germination and agromorphological traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Research, 44*(12), 1455–1459. https://doi.org/10.18805/LR-633

Tamagno, S., Sadras, V. O., Ortez, O. A., & Ciampitti, I. A. (2020). Allometric analysis reveals enhanced reproductive allocation in historical set of soybean varieties. *Field Crops Research, 248*, 107717. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107717

Uçarlı, C. (2020). Effects of salinity on seed germination and early seedling stage. In Abiotic stress in plants. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.93647

Waheed, A., Zhuo, L., Wang, M., Hailiang, X., Tong, Z., Wang, C., & Aili, A. (2024). Integrative mechanisms of plant salt tolerance: Biological pathways, phytohormonal regulation, and technological innovations. *Plant Stress, 14*, 100652. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100652

Wang, Q., Xu, S., Zhong, L., Zhao, X., & Wang, L. (2023). Effects of zinc oxide nanoparticles on growth, development, and flavonoid synthesis in ginkgo biloba. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(21), 15775. https://doi.org/10.3390/ijms242115775

Waqas, M., Korres, N. E., Khan, M. D., Nizami, A. S., Deeba, F., Ali, I., & Hussain, H. (2019). Advances in the Concept and Methods of Seed Priming. In Priming and pretreatment of seeds

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]

and seedlings: Implication in plant stress tolerance and enhancing productivity in crop plants (pp. 11–41). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_2

Zhou, H., Shi, H., Yang, Y., Feng, X., Chen, X., Xiao, F., Lin, H., & Guo, Y. (2023). Insights into plant salt stress signaling and tolerance. *Journal of Genetics and Genomics, 51*(1), 16–34. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2023.08.007

Zou, Y., Zhang, Y., & Testerink, C. (2022). Root dynamic growth strategies in response to salinity. *Plant, Cell & Environment, 45*(3), 695–704. https://doi.org/10.1111/pce.14205

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-22]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.133]