Iranian Journal of Seed Research

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

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

Yasouj University

Effect of Chitosan on Germination Indices and Antioxidant Enzyme Activity in Safflower cv. Goldasht (*Carthamus tinctorius*) Under Salinity Stress

Haniyeh Saadat[1]✉, and **Mohammad Sedghi**[2]

1. Corresponding author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: t.saadat@uma.ac.ir
2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: m_sedghi@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 16 February 2025
Received in revised form 18 April 2025
Accepted 26 May 2025
Available online 22 September 2025

Keywords:
Ascorbate peroxidase
Catalase
Germination indicators
Peroxidase

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the effect of chitosan on germination indicators and the activity of antioxidant enzymes in safflower seedlings under salinity stress.

Method: The experiment was conducted using a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili in 2024. The experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM NaCl) and four concentrations of chitosan (0, 0.2, 0.4, and 0.5% w/v), which were dissolved in 1% acetic acid.

Results: The results showed that salinity stress reduced the germination rate, radicle length, plumule length, seedling length, seedling fresh weight, and seedling dry weight. However, priming with different concentrations of chitosan, especially at 0.5%, improved these traits. The highest daily germination rate (0.114) was observed in the control group (distilled water priming) under 150 mM salinity. The activity of catalase and peroxidase enzymes in the control under 150 mM salinity increased by approximately 43% and 70%, respectively, compared to the 0.5% chitosan treatment under non-saline conditions. Similarly, the activity of superoxide dismutase enzyme in the 0.5% chitosan treatment under 150 mM salinity increased by about 67% compared to the control under non-saline conditions. Furthermore, the ascorbate peroxidase enzyme activity in seeds primed with 0.5% chitosan increased by 37% compared to the control (distilled water priming).

Conclusions: The results indicated that seed treatment with different concentrations of chitosan can mitigate the harmful effects of salinity on some traits of safflower seedlings and improve seedling growth. The best results were achieved when 0.5% chitosan was used under salinity conditions.

Cite this article: Saadat, H., & Sedghi, M. (2025). Effect of chitosan on germination indices and antioxidant enzyme activity in safflower cv. Goldasht (*Carthamus tinctorius*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *12* (1), 15-36. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.15

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.15

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Highlights

- Safflower seed priming using 0.5% chitosan improved the germination indices of safflower seeds under salinity stress.
- Safflower seed priming with 0.5% chitosan increased the activity of the superoxide dismutase and ascorbate peroxidase enzymes.
- Priming with chitosan had a better effect on the germination indices and biochemical characteristics of safflower seeds compared to the control.

Introduction

Safflower has a long history of cultivation worldwide and is considered a salt-tolerant plant. Salinity is one of the most important abiotic environmental stresses that limit plant growth and production, threatening global food security. Recently, the utilization of chitosan in agriculture has increased because it enhances the resistance of crop plants to different stress factors such as salinity. Chitosan, a naturally occurring biopolymer derived from chitin through partial deacetylation, has been applied in agriculture as a growth promoter (Shah et al., 2016). This application is attributed to its several characteristics: non-toxicity, biocompatibility, biodegradability, and renewability from cost-effective resources. Today, the seed priming method with chitosan is used to increase the tolerance of plant species against abiotic stresses. The antioxidant defense system, particularly enzymes like catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POX), and ascorbate peroxidase (APX), counteracts ROS toxicity. Seed priming, particularly with chitosan, has been recognized as a practical approach to mitigate the effects of salinity stress by enhancing antioxidant defenses and repairing cellular structures (Saadat & Sedghi, 2024). Seed priming is an alternative, inexpensive, and feasible technique for mitigating salinity stress compared with other agronomical practices. In this study, we investigated the effect of chitosan on germination indicators and the activity of antioxidant enzymes in safflower seedlings under salinity stress.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili in 2024. The experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM) and four levels of chitosan (0, 0.2, 0.4, and 0.5% weight/volume), all of which were dissolved in 1% acetic acid. For priming, the seeds were immersed in chitosan solutions for 4 hours. After priming, the seeds were washed with distilled water and dried. Subsequently, sodium chloride was added to each Petri dish for the germination test, which was performed with three replications of 25 seeds each at a temperature of 20°C for a duration of 8 days. Afterward, germination indices and antioxidant enzyme activities were measured. Statistical analysis was performed using SAS software, and Duncan's multiple range test ($p=0.05$) was used to compare the means.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Results

The results showed that salinity stress reduced the germination rate, radicle length, plumule length, seedling length, seedling fresh weight, and seedling dry weight. However, priming with different levels of chitosan, especially at 0.5%, improved these traits. The highest daily germination rate was observed in the control (distilled water priming) under 150 mM salinity. The decrease in the water potential gradient between the seeds and the surrounding environment, which may be due to disrupted synthesis of enzymes essential for germination, could explain the reduced germination under salinity stress. Priming enhances the activity of enzymes that hydrolyze storage materials, enabling seedlings to absorb nutrients more readily during germination. Consequently, primed seeds can complete the germination process in a shorter time frame. The activities of catalase and peroxidase enzymes in the control treatment under 150 mM salinity increased by approximately 43% and 70%, respectively, compared to the 0.5% chitosan treatment under non-saline conditions. The activity of the superoxide dismutase enzyme in the 0.5% chitosan treatment under 150 mM salinity increased by approximately 67% compared to the control under non-saline conditions. Also, the activity of the ascorbate peroxidase enzyme in priming with 0.5% chitosan increased by 37% compared to the control (distilled water priming). Antioxidant enzyme levels were elevated under salinity stress, which is attributed to the increased production of reactive oxygen species that, in turn, stimulates their synthesis. Priming with chitosan significantly enhanced the activities of CAT, SOD, POD, and APX, especially under 150 mM salinity. These enhancements indicate a stronger enzymatic detoxification of ROS, improving the seedling's resilience under oxidative stress.

Conclusions

The results showed that seed priming with different levels of chitosan can reduce the harmful effects of salinity on some traits in safflower seedlings and improve seedling growth. The best results were achieved when 0.5% chitosan was used under salinity conditions. Priming safflower seeds with chitosan significantly enhances antioxidant enzyme activities and mitigates oxidative damage. This leads to improved seedling vigor even under severe salinity stress. Thus, seed priming represents a promising pre-sowing strategy to improve field emergence under stress conditions.

Author Contributions

Investigation, H.S.; resources, H.S.; data curation, H.S. and M.S; writing-original draft preparation, H.S.; writing-review and editing, H.S.; supervision, M.S.; project administration, H.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Acknowledgements

The authors are highly indebted to the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili for providing research facilities and technical assistance during the research work.

Ethical Considerations

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

Funding

This article was conducted with the financial support of the Vice Chancellor for Research of the University of Mohaghegh Ardabili.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

پژوهش‌های بذر ایران

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

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

تأثیر کیتوزان بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاد اکساینده بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) رقم گلدشت تحت تنش شوری

هانیه سعادت[1]✉، و محمد صدقی[2]

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: t.saadat@uma.ac.ir

۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m_sedghi@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
آسکوربات پراکسیداز
پراکسیداز
شاخص‌های جوانه‌زنی
کاتالاز

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کیتوزان بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده گیاهچه گلرنگ تحت تنش شوری اجرا گردید.

روش پژوهش: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و چهار سطح کیتوزان (۰، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی- حجمی) که همه در اسید استیک یک درصد حل شده بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که شوری، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، گیاهچه و وزن تر و خشک گیاهچه را کاهش داد، ولی پیش‌تیمار بذر با سطوح مختلف کیتوزان به‌ویژه غلظت ۰/۵ درصد این صفات را بهبود بخشید. بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۱۴) در شاهد (پیش‌تیمار با آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به کیتوزان با غلظت ۰/۵ درصد و بدون شوری به ترتیب در حدود ۴۳ و ۷۰ درصد افزایش نشان دادند. فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در کاربرد با کیتوزان ۰/۵ درصد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار حدود ۶۷ درصد نسبت به شاهد و بدون شوری بیشتر بود. همچنین، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار با غلظت ۰/۵ درصد کیتوزان نسبت به شاهد (پیش‌تیمار با آب مقطر) حدود ۳۷ درصد افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار بذر با سطوح مختلف کیتوزان می‌تواند اثرات مضر تنش شوری بر برخی صفات در گیاهچه گلرنگ را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد. بهترین نتیجه زمانی حاصل شد که از کیتوزان ۰/۵ درصد در شرایط شوری استفاده شد.

جنبه‌های نوآوری:

- پیش‌تیمار بذر گلرنگ با استفاده از کیتوزان ۰/۵ درصد سبب بهبود برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کیتوزان تحت شرایط شوری گردید.
- پیش‌تیمار بذر گلرنگ با کیتوزان ۰/۵ درصد، سوپراکسیددیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد.
- پیش‌تیمار با کیتوزان تأثیر بهتری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذر گلرنگ نشان داد.

استناد: سعادت، هانیه؛ و صدقی، محمد (۱۴۰۴). تأثیر کیتوزان بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) رقم گلدشت تحت تنش شوری. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲ (۱)، ۳۶-۱۵. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.15

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک ساله گلدار از خانواده Asteraceae است (چاپمن و بورکه[1]، ۲۰۰۷). مناطق عمده تولید بذر گلرنگ آسیا و آمریکا هستند که ۹۰ درصد از تولید تجمعی را تشکیل می‌دهند (فائو[2]، ۲۰۲۴). گلرنگ یک محصول چند منظوره است که در ابتدا به منظور رنگ طبیعی و طعم دهنده غذا کشت می‌شد (اعظمی[3] و همکاران، ۲۰۱۹). از نیمه اول قرن بیستم به عنوان یک محصول دانه روغنی کشت می‌شود و دانه‌های آن سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع (اسیدهای اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) است که بطور مستقیم با محافظت از قلب، کاهش چربی خون و اثرات ضد التهابی مرتبط است (فن[4] و همکاران، ۲۰۲۳). سطح زیر کشت گلرنگ در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مجموع کشت آبی و دیم ۵ هزار هکتار و میزان تولید آن در کشور ۷/۱۷۵ تن بوده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ۲۰۲۲).

شوری یکی از معضلات اصلی در مناطق خشک و نیمه خشک است که از طریق تغییرات در مورفولوژی گیاه و فرآیندهای بیوشیمیایی و مولکولی بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد (عمران[5] و همکاران، ۲۰۲۲). طبق گزارش‌ها تا سال ۲۰۵۰، تقریباً نیمی از زمین‌های قابل کشت جهان تحت تأثیر سطوح بالای شوری قرار می‌گیرد که تهدیدی قابل توجه برای کشاورزان است (مصطفی[6] و همکاران، ۲۰۱۹). شوری با تغییر جوانه‌زنی، رشد و ویژگی‌های فیزیو-بیوشیمیایی بذر بر پایداری و بهره‌وری زمین قابل کشت تأثیر منفی می‌گذارد و در نتیجه بازده کشاورزی را محدود می‌کند. تنش شوری به سرعت باعث چندین آسیب ثانویه می‌شود که موجب تنش یونی، تنش اکساینده و تنش اسمزی می‌گردد (ایساینکوف[7] و همکاران، ۲۰۱۹). تنش یونی، باعث از هم گسیختگی غشاء، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی که، عملکرد ریشه‌چه و ساقه‌چه را مختل می‌کند (روالد[8] و همکاران، ۲۰۱۳). طبق گزارش‌ها تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده در گیاه گلرنگ می‌شود (شهبازی و گلکار[9]، ۲۰۱۶). شوری طول گیاهچه و طول ریشه‌چه را در گیاه گلرنگ تحت تاثیر قرار می‌دهد (گورسوی[10]، ۲۰۲۳). جوانه‌زنی بذر مراحل بسیار مهمی برای رشد گیاهچه و تولید محصول می‌باشد، یک پدیده پیچیده و بسیار حساس به اثرات نامطلوب تحت شرایط تنش است (اخوندی[11] و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طور کلی، جوانه‌زنی بذر، ظهور گیاهچه و استقرار در مقایسه با گیاهان بالغ، در مراحل اولیه که نسبت به تنش غیرزیستی تحمل کمتری دارند، ممکن است منجر به مرگ و میر بالا و عملکرد پایین محصول شود (ژانگ[12] و همکاران، ۲۰۱۵).

تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله کاهش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه در گیاه گلرنگ می‌شود (هیرماس[13] و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، طبق گزارش‌ها شوری باعث افزایش محتوای سدیم، تولید گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده شده و محتوای آب برگ و عملکرد دانه را در گیاه گلرنگ کاهش می‌دهد (قاسمی‌گلعذانی[14] و همکاران، ۲۰۲۴).

جوانه‌زنی نیاز به رطوبت دارد. بنابراین، پیش‌تیمار برای فرآیندهای متابولیکی درگیر در جوانه‌زنی ایده‌آل است (خان[15] و همکاران، ۲۰۲۲). پیش‌تیمار بذر روشی است که شامل تیمار بذر با مواد شیمیایی یا محلولی برای رشد جنین و رشد گیاهچه است (رامان[16] و همکاران، ۲۰۲۰). این روش جوانه‌زنی بذر را تحت چندین تنش غیرزیستی از جمله شوری بهبود می‌بخشد (جیشا[17] و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، گیاه را در طول فصل رشد

[1] Chapman and Burke
[2] FAO
[3] Azami
[4] Fan
[5] Imran
[6] Mustafa
[7] Isayenkov

[8] Rewald
[9] Shahbazi and Golkar
[10] Gürsoy
[11] Akhondi
[12] Zhang
[13] Hiremath
[14] Ghassemi-Golezani
[15] Khan
[16] Rhaman
[17] Jisha

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

نسبت به تنش شوری مقاوم‌تر می‌کند (سعادت و صدقی[1]، صدقی[1]، ۲۰۲۴).

پیش‌تیمار، در گیاه کاهو با بهبود جوانه‌زنی بذر، تجمع نمک در بافت را کاهش می‌دهد (آدهیکاری[2] و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج تحقیقی نشان داد که پیش‌تیمار بذر باعث افزایش معنی‌داری در تمامی ویژگی‌های مختلف فیزیولوژیکی از جمله درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، عامل جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه گلرنگ شد (هیرماس و همکاران، ۲۰۲۴). تیمارهای پرایمینگ باعث تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین و قندهای محلول در بذرها می‌شوند. اسمولیت‌ها به عنوان املاح سازگار عمل کرده و به حفظ تعادل اسمزی سلولی کمک می‌کنند، در نتیجه سلول‌ها را در برابر از دست دادن آب محافظت کرده و یکپارچگی ساختاری خود را در شرایط تنش اسمزی حفظ می‌کنند (مارتاندان[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

کیتوزان از کیتین، که دومین پلیمر زیستی فراوان روی زمین پس از سلولز است، پردازش می‌شود. کیتوزان به دلیل زیست تخریب پذیری، زیست سازگاری و خواص غیر سمی آن به خوبی شناخته شده است و در اشکال مختلف از جمله پودر، محلول‌های مایع و دانه‌ها موجود است (شاه[4] و همکاران، ۲۰۱۶). به دلیل منشاء طبیعی و قابلیت ساخت کیتوزان به‌طور گسترده برای کاربرد در کشاورزی مورد مطالعه قرار گرفته است. استفاده از کیتوزان به روش و غلظت مناسب می‌تواند به طور موثر اثرات مضر سطوح شوری بالا را کاهش داده و رشد گیاه را افزایش دهد (سعادت و صدقی، ۲۰۲۴). پیش‌تیمار با کیتوزان تحت تنش شوری سامانه دفاعی آنزیم‌های پاداکساینده را در بذرهای تیمار شده بهبود می‌بخشد (سعادت و صدقی، ۲۰۲۴; سعادت[5] و همکاران، ۲۰۲۳a). آنها بررسی کردند که پیش‌تیمار بذر با کیتوزان به طور موثر تأثیر منفی تنش اکساینده ناشی از تنش شوری را کاهش داد و در افزایش بنیه بذر، جوانه‌زنی و تشکیل اولیه گیاهچه‌ها نقش اساسی داشت. آن‌ها نتیجه گرفتند که پیش‌تیمار بذر با کیتوزان سازوکارهای دفاعی پاداکسیدانی را تنظیم می‌کند، تحمل نمک را تشویق می‌کند و منجر به افزایش شاخص‌های رشد و جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده نسبت به بذرهای پرایم نشده می‌شود. مطالعات نشان داده است که کیتوزان تحت تنش شوری باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه، وزن تر گیاهچه، وزن تر ریشه‌چه و درصد جوانه‌زنی در گیاه گلرنگ می‌شود (منصوری[6] و همکاران، ۲۰۱۶؛ گورسوی، ۲۰۲۳). افزایش شاخص‌های رشد، جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده در پیش‌تیمار با کیتوزان تحت تنش شوری در گیاهان لوبیا، سویا و برنج نیز گزارش شده است (سعادت و صدقی، ۲۰۲۴: سعادت و همکاران، ۲۰۲۳a; سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c; سعادت و همکاران، ۲۰۲۳b). تیمار کیتوزان رشد گیاهچه گلرنگ را تحت تنش اسمزی شدید از طریق سازوکارهایی از جمله افزایش سطوح محافظت کننده اسمزی، افزایش فعالیت پاداکسیدانی و بهبود یکپارچگی غشاء بهبود می‌بخشید (ابدی‌آذر[7] و همکاران، ۲۰۲۴). هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر کیتوزان بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده گیاهچه گلرنگ در واکنش به تنش شوری و نقش پیش‌تیمار بذر با سطوح مختلف کیتوزان در رفتار جوانه‌زنی بذر گلرنگ بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کیتوزان بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده بذر گلرنگ در شرایط تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ با سه تکرار و چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰، و ۱۵۰ میلی‌مولار) از منبع کلرید سدیم (گورسوی، ۲۰۲۳) و چهار سطح کیتوزان (شاهد (آب مقطر)، ۰/۲، ۰/۴، و ۰/۵ درصد وزنی-حجمی) (گورسوی، ۲۰۲۳) انجام شد. بذرهای گواهی شده گلرنگ رقم گلدشت تولیدی سال ۱۴۰۲ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در ابتدا بذرهای گلرنگ با هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۳۰

[1]Saadat and Sedghi
[2] Adhikari
[3]Marthandan
[4]Shah
[5]Saadat
[6]Mansouri
[7]Abdiazar

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

ثانیه سترون و سپس با آب مقطر شسته شدند. جهت اعمال پیش‌تیمار بذرها درون محلول‌های کیتوزان و آب مقطر به‌مدت ۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند (گورسوی، ۲۰۲۳) بعد از پیش‌تیمار، بذرها به‌وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. سپس، ۲۵ عدد بذر در داخل پتری‌های ۹ سانتی‌متری جهت کشت قرار گرفت و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) با سطوح مختلف به مقدار ۵ میلی‌لیتر اضافه گردید. سپس، پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به‌مدت ۸ روز قرار داده شد (یلوایر و هاننا‌چی[1]، ۲۰۱۲). معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان دو میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد (منصوری و همکاران، ۲۰۱۶). برای خشک کردن گیاهچه‌ها از آون با دمای ۷۰ درجه‌ی سلسیوس استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک گیاهچه از ترازو با دقت یک‌هزارم و برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه از خط‌کش با واحد سانتی‌متر استفاده شد. برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۱ (الیس و رابرتس[2]، ۱۹۸۰)، سرعت جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۲ (ماگویر[3]، ۱۹۶۲) و ضریب آلومتری از رابطه ۳ (ابراهیمی[4] (ابراهیمی[4] و همکاران، ۲۰۱۳) استفاده شد.

رابطه ۱: $GR^{5} = \sum_{I=1}^{N} ni / Di$

ni: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز Di: تعداد روز تا شمارش nام

رابطه ۲: $DGS^{6} = 1/MDG$

MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه

رابطه۳: $CA^{7} = LS/LR$

LS: طول ساقه‌چه، LR: طول ریشه‌چه

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده در برگ گلرنگ، ابتدا ۰/۵گرم نمونه تر برگ در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر شد و با ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) حاوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA هموژن گردید. همگنای حاصل را به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ کرده و محلول شناور رویی برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده مورد استفاده قرار گرفت (سایرام[8] و همکاران، ۲۰۰۲).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش ابی[9] (۱۹۸۴) اندازه‌گیری گردید. مواد شیمیایی مورد نیاز شامل ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود که حجم نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. با افزودن پراکسید هیدروژن واکنش شروع گردید و تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. محلول جذب زمینه برای دستگاه شامل تمام موارد استفاده شده به جز عصاره آنزیمی استخراج شده بود. میزان پراکسید هیدروژن تجزیه شده با استفاده از ضریب خاموشی (ε= 39/4 $\mu M^{-1}cm^{-1}$) محاسبه و فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش همدا و کلین[10] (۱۹۹۰) انجام شد. مخلوط واکنش شامل۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۵۰ میکرولیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار محلول در آب دوبار تقطیر شده، ۳۴ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۴۶۷ میکرولیتر آب دو بار تقطیر سترون شده و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در

[1] Elouaer and Hannachi
[2] Ellis and Roberts
[3] Maguire
[4] Ebrahimi
[5] Germination rate
[6] Daily germination rate
[7] Allometry coefficient

[8] Sairam
[9] Aebi
[10] Hemeda and Klein

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

نتیجه فعالیت آنزیم پراکسیداز بر حسب واحد بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت این آنزیم براساس روش جیانوپلتیس و ریز[1] (۱۹۷۷) مورد سنجش قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل بافر ۰/۱ مول در لیتر فسفات (pH=۷/۸) به میزان ۳ میلی‌لیتر که حاوی ۱/۳ میکرومول در لیتر ریبوفلاوین، متیونین به میزان ۱۳ میلی‌مول در لیتر، نیتروبلوتترازولیوم به میزان ۶۳ میکرومولار و عصاره آنزیمی به میزان ۰/۱ میلی‌لیتر بود. نمونه بلانک در تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و نمونه‌های شاهد و عصاره آنزیمی در محفظه نوری با دو لامپ فلورسنت W20 به مدت ۱۵ دقیقه و ۱۰۰ دور در دقیقه روی شیکر گذاشته شد. سپس، جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد.

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز براساس روش ناکانو و اسادا[2] (۱۹۸۱) انجام گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم ۲۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات با اسیدیته ۷، ۰/۱ میلی مولار EDTA، ۵ میلی‌مولار آسکوربات، ۰/۳ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن در حمام یخ با یکدیگر مخلوط شدند. سپس، بلافاصله ۰/۵ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به آن افزوده شد. کاهش در جذب به‌دلیل اکسیداسیون آسکوربات در طول موج ۲۹۰ نانومتر و ۲۰ ثانیه بعد از اضافه کردن پراکسید هیدروژن به‌وسیله اسپکتروفتومتر ثبت گردید. مقدار این آنزیم برحسب تغییرات واحد جذب در ثانیه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. دیگر محاسبات و رسم شکل‌ها نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2018 صورت گرفت.

نتایج و بحث

سرعت جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کیتوزان و شوری و اثر متقابل آن‌ها روی سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). پرایمینگ با سطوح کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ توانست سرعت جوانه‌زنی را افزایش دهد. با این وجود، تأثیر کیتوزان ۰/۵ درصد بیشتر از سطوح دیگر کیتوزان و هیدرو پرایمینگ بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۱۰/۷ بذر در روز) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و بدون شوری و کم‌ترین آن (۱/۱ بذر در روز) در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۲).

تنش شوری با کاهش جذب آب، پتانسیل آبی را کاهش داده و افزایش تجمع سدیم و کلر باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌شود (نواز[3] و همکاران، ۲۰۲۲). یون‌های سدیم و کلر اضافی جذب شده موجب سمیت یونی شده و بر فرآیندهای متابولیک در بذرهای جوانه‌زنی از طریق فعالیت آنزیمی مانند هیدرولیز مواد مغذی تأثیر سوئ می‌گذارد (ناصر[4] و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش سرعت سرعت جوانه‌زنی در اثر پیش‌تیمار بیانگر افزایش قدرت بذرهاست که موجب بهبود سریع گیاهان و کاهش ناهمگنی فیزولوژیکی ذاتی می‌شود. پیش‌تیمار با ساخت پروتئین و فعال‌سازی آنزیم‌هایی مانند هیدرولایز و آلفا آمیلاز در جنین، موجب افزایش آنزیم‌های پاداکساینده مانند آسکوربات در بذر شده و این آنزیم‌ها با کاهش فعالیت پراکسیداسیون لیپیدها، موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شوند (فاروق[5] و همکاران، ۲۰۰۷). در واقع، پیش‌تیمار بذر با فعال کردن برخی آنزیم‌ها در بذر سرعت جوانه‌زنی افزایش داده و دسترسی به مواد مغذی را آسان‌تر می‌کند. در نتیجه بذرهای پرایم شده زودتر جوانه زده و تنش را بیشتر تحمل می‌کند (بهراسمانی[6] و همکاران، ۲۰۲۳).

[1] Giannopolitis and Ries
[2] Nakano and Asada
[3] Nawaz
[4] Naseer
[5] Farooq
[6] Bahrasemani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر کیتوزان و شوری بر صفات مورد مطالعه در گیاهچه گلرنگ

Table 1. Analysis of variance for the effect of chitosan and salinity on studied traits in safflower seedlings.

منابع تغییر S.O.V.	درجه‌ی آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of squares						
		سرعت جوانه‌زنی Germination rate	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	ضریب آلومتری Allometry coefficient	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight
کیتوزان Chitosan (C)	3	45.5**	0.00039814**	0.08539*	25.1**	6.54**	57.0**	3.508**
شوری Salinity (S)	3	58.3**	0.00090038**	0.00984 ns	10.7**	3.37**	25.9**	4.362**
اثر متقابل C×S	9	1.1**	0.00002285*	0.010692 ns	0.8**	0.28**	1.9**	0.668**
خطا Error	32	0.3	0.00001034	0.02094	0.2	0.09	0. 4	0.019
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.3	3.4	22.4	14.7	15.7	12.4	16.181

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns, * and ** indicating not significant, the significant differences at 5 and 1 percent probability levels.

ادامه جدول ۱.

Continued Table 1.

منابع تغییر S.O.V.	درجه‌ی آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of squares				
		وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	سوپراکسیددیسمیوتاز Superoxide dismutase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase
کیتوزان Chitosan (C)	3	0.20612939**	2081.7**	0.026316**	53.2**	2932.7**
شوری Salinity (S)	3	0.14325073**	1108.1**	0.006934**	102.9**	5240.1**
اثر متقابل C×S	9	0.03014801**	90.2*	0.000733**	2.7*	37.3ns
خطا Error	32	0.00069450	41.9	0.000232	0.9	185.4
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		12.5	7.1	10.3	9.2	13.4

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

* and ** indicating the significant differences at 5 and 1 percent probability levels.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل کیتوزان و شوری روی صفات مطالعه شده در گلرنگ

Table 2. Mean comparison for the interaction of chitosan and salinity on studied traits in safflower.

شوری Salinity (mM)	پیش‌تیمار Priming	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed/day)	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	طول گیاهچه Seedling length (cm)
0	هیدروپرایمینگ Hydropriming	5.3 e	0.093 cdef	1.9 efg	1.2 fgh	3.1 hi
50		3.7 gh	0.097 c	1.6 fg	1.1 gh	2.7 hij
100		3.1 hi	0.104 b	1.3 g	0.89 h	2.2 ij
150		1.1 j	0.114 a	1.1 g	0.81 h	1.9 j
0	کیتوزان ۰/۲٪ Chitosan 0.2%	6.9 d	0.087 fgh	3.5 c	2.2 cd	5.7 cde
50		4.9 ef	0.091 def	2.7 de	1.9 de	4.6 fg
100		3.9 gh	0.095 cde	2.2 ef	1.5 efg	3.7 gh
150		2.5 i	0.105 b	1.7 fg	1.3 fgh	3.0 hij
0	کیتوزان ۰/۴٪ Chitosan 0.4%	8.2 c	0.084 gh	5.3 b	2.8 b	8.9 b
50		7.0 d	0.087fgh	4.1c	2.5 bc	6.6cd
100		5.6 e	0.094cde	3.6 c	1.9 de	5.5def
150		2.7 i	0.085 fgh	2.2 ef	1.2 fgh	3.8 h
0	کیتوزان ۰/۵٪ Chitosan 0.5%	10. 7 a	0.082 h	6.5 a	3.7 a	10.2 a
50		9.3 b	0.085 gh	5.2 b	2.9 b	8.2 b
100		7.2 d	0.089 efg	4. 1 c	2.7 bc	6.7 c
150		4.3 fg	0.095 cd	3.3 cd	1.7 def	5.0 ef

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن است.

The different letters in each column indicate a significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

ادامه جدول ۲.

Continued Table 2.

شوری Salinity (mM)	پیش‌تیمار Priming	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight (g)	کاتالاز Catalase (U mg^{-1} protein)	پراکسیداز Peroxidase (U mg^{-1} protein)	سوپراکسیددیسموتاز Superoxide dismutase (U mg^{-1} protein)
0	هیدروپرایمینگ Hydropriming	0.153 gh	0.119 f	93.4 bcd	0.169 cd	5.8 k
50		0.137 h	0.111 fg	96.7 bc	0.181 bc	7.4 ijk
100		0.115 h	0.098 fg	118.7 a	0.199 b	8.9 fghi
150		0.091 h	0.064 g	123.1 a	0.266 a	10.4 def
0	کیتوزان ۰/۲٪ Chitosan 0.2%	1.550 c	0.218 e	84.2 de	0.131 ef	6. 7 jk
50		1.193 de	0.121 f	92.7 bcd	0.148 de	7.9 ghij
100		0.516 f	0.112 fg	97.2 bc	0.174 bcd	10.1 ef
150		0.242 gh	0.087 fg	99.6 b	0.191 bc	12.1 d
0	کیتوزان ۰/۴٪ Chitosan 0.4%	1.963 b	0.353 c	74.3 ef	0.105 fg	7. 7 hij
50		1.368 cd	0.272 d	77.7 ef	0.126 ef	9.5 fg
100		0.394 fg	0.137 f	82.2 def	0.138 e	11.5 de
150		0.226 gh	0.102 fg	101.5 b	0.147 de	15.7 b
0	کیتوزان ۰/۵٪ Chitosan 0.5%	2.943 a	0.692 a	70.4 f	0.081 g	9.2 fgh
50		1.160 de	0.475 b	75.6 ef	0.092 g	10.5 def
100		1.003 e	0.277 d	79.5 ef	0.096 g	13.9 c
150		0.592 f	0.126 f	85.3cde	0.106 fg	17.8 a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن است.

The different letters in each column indicate a significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

در این تحقیق، به نظر می‌رسد که هیدروپرایمینگ با بهبود فرآیندهای متابولیکی مربوط به سرعت جوانه‌زنی و کیتوزان با تاثیر بـر فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده بر فرآیند فیزیولوژیکی سرعت جوانه‌زنی تاثیر گذاشته و از طریق تاثیر بر سرعت جوانه‌زنی، موجب بهبود استقرار گیاهچه‌ها می‌شود. تحقیق‌ها نشان داده است که پیش‌تیمار با کیتوزان تحت تنش شوری باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در گیاه گلرنگ می‌شود (منصوری و همکاران، ۲۰۱۶). یافته‌های سعادت و صدقی (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که استفاده از کیتوزان تحت تنش شوری می‌تواند در پیش‌تیمار بذرهای مختلف مفید باشد.

سرعت جوانه‌زنی روزانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کیتوزان و شوری روی سرعت جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۱۴) در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۰/۰۸۲) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و بدون شوری مشاهده شد. سطوح ۰/۲ و ۰/۴ درصد کیتوزان نیز روی سرعت جوانه‌زنی روزانه تاثیر داشت (جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی روزانه معکوس میانگین جوانه‌زنی روزانه است، پس با افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه در طول پیش‌تیمار با کیتوزان کاهش می‌یابد (سعادت و صدقی، ۲۰۲۴). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح شوری سرعت جوانه‌زنی روزانه افزایش یافت. پیش‌تیمار بذر سرعت جوانه‌زنی را از طریق ترمیم متابولیک در طی تنظیم اسمزی، جذب و تحریک تحولات متابولیکی پیش از جوانه‌زنی در بذرها افزایش می‌دهد. این‌ها تأثیری بر پردازش DNA، تحرک ذخیره اولیه و سازوکارهای جبران و اصلاح در طول تکثیر و تکرار دارند (ابراهیم[1] و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال، پیش‌تیمار همچنین فعالیت‌های جوانه‌زنی، به عنوان مثال، ذخیره‌سازی، متابولیسم انرژی، تنفس، ترویج بزرگ شدن سلول‌های جنین و تضعیف آندوسپرم را تشویق می‌کند (ایکسو[2] و همکاران، ۲۰۲۱).

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه: براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده کیتوزان، شوری و اثر متقابل این دو عامل مورد مطالعه بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که تاثیر کیتوزان ۰/۵ درصد بیشتر از کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ بود. به‌طوری‌که بـیش‌تـرین طول ریشه‌چه (۶/۵ سانتی‌متر)، ساقه‌چه (۳/۷ سانتی‌متر) و گیاهچه (۱۰/۲ سانتی‌متر) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و بدون شوری و کم‌ترین طول ریشه‌چه (۱/۱ سانتی‌متر)، ساقه‌چه (۰/۸۱ سانتی‌متر) و گیاهچه (۱/۹ سانتی‌متر) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۲).

پرایمینگ با آب مقطر و سطوح مختلف کیتوزان کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت تنش شوری را به طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پرایم نشده تحت تنش شوری افزایش داد و پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد، بیش‌ترین تاثیر را در این مورد داشت. کاهش رشد ریشه‌چه ساقچه و گیاهچه در شرایط شوری ممکن است با سمیت کلرید سدیم و عدم تعادل در جذب عناصر غذایی توسط گیاهچه ارتباط داشته باشد. کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت تنش شوری، احتمالا به دلیل، کاهش انتقال مواد غذایی از لپه به جنین، کاهش سنتز مواد دیوارهای سلولی، کاهش جذب آب، کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های مثل آلفا آمیلاز، لیپاز و اینورتاز است (ذوالفقار[3] و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، به دلیل سمیت یون‌ها و اثرات نامطلوب آن‌ها بر غشای سلولی، فرآیندهای متابولیکی و مسیرهای سیگنال‌دهی است (مفتاحی زاده و رحمتی[4]، ۲۰۲۱). همچنین، کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت تنش می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و افزایش طول، تنفس کم باشد (تائو[5] و همکاران ۲۰۱۸). افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ساقه‌چه در پیش‌تیمار با کیتوزان و آب مقطر می‌تواند به دلیل آغاز یک روند متابولیکی در جنین به‌وسیله پیش‌تیمار باشد که قبل از ظهور گیاهچه اتفاق می‌افتد و

[1] Ibrahim
[2] Xu
[3] Zulfiqar
[4] Meftahizade and Rahmati
[5] Tao

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

بذرها را برای ظهور ریشه‌چه آماده می‌کند (وحید[1] و همکاران ۲۰۰۸). علاوه بر این، پیش‌تیمار بذر با کاهش موانع فیزیکی آندوسپرم در طول جذب، ترمیم آسیب غشایی، بهبود رشد جنین‌های نابالغ و شستن بازدارنده‌های جوانه‌زنی موجب افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (بیولی[2] و همکاران ۲۰۱۳). پیش‌تیمار باعث تقسیم سلولی، سنتز اسیدهای نوکلئیک و ATP برای افزایش انرژی سلولی می شود (دویکا[3] و همکاران، ۲۰۲۱). منصوری و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که پیش‌تیمار با کیتوزان تحت تنش شوری با افزایش میزان استفاده از مواد ذخیره سازی بذر طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه را در گلرنگ افزایش می‌دهد. کاهش طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه طی سطوح شوری مطابق با نتایج محققان قبلی روی گیاه گلرنگ است (شهبازی و گلکار، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار با کیتوزان طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه در گلرنگ بهبود می‌بخشد (ابدی‌اذر و همکاران، ۲۰۲۴).

ضریب آلومتری: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کیتوزان روی ضریب آلومتری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). پرایمینگ با سطوح کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ ضریب آلومتری را افزایش داد. اما تاثیر کیتوزان ۰/۵ درصد بیشتر از سطوح کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ بود. بیش‌ترین ضریب آلومتری (۰/۷۰۷) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و کم‌ترین آن (۰/۵۸۱) در شاهد مشاهده شد (شکل ۱). با افزایش سطوح شوری ضریب آلومتری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین ضریب آلومتری (۰/۶۵۷) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۰/۶۰۳) در شاهد به دست آمد (شکل ۱). البته بین سطوح شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). از آنجایی که ضریب آلومتری از نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه حاصل می‌شود، افزایش آن طی تنش شوری نشان دهنده افزایش طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه است و پیش‌تیمار با آب مقطر، کیتوزان با غلظت ۰/۲ و ۰/۴ درصد، به‌ویژه کیتوزان ۰/۵ درصد آن را کاهش داد. معمولا نسبت کمتر ضریب آلومتری نشانه تحمل بیشتر گیاه در شرایط تنش شوری است. در این پژوهش، شوری ضریب آلومتری را کاهش داد هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار نبود و این امر بیانگر کاهش جذب آب به‌وسیله بذر تحت شرایط تنش شوری است که موجب کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های آلفا آمیلاز، لیپاز و اینورتاز شده و سبب اختلال در ساقه‌چه می‌گردد و در نتیجه بر نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه تاثیر می‌گذارد (پناهی[4] و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، شوری با محدود کردن انتقال مواد غذایی از لپه به محور جنینی و با کاهش سرعت رشد محور جنین از رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه جلوگیری کرده و منجر به کاهش میزان ضریب آلومتری می‌شود (سلطانی[5] و همکاران، ۲۰۰۶). کاهش ضریب آلومتری طی پیش‌تیمار با کیتوزان در گیاه لوبیا نیز مشاهده شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c)، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

وزن تر و خشک گیاهچه: طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده کیتوزان و تنش شوری و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن تر گیاهچه (۲/۹۴۳ گرم) و وزن خشک گیاهچه (۰/۶۹۲ گرم) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و بدون حضور شوری و کم‌ترین وزن تر گیاهچه (۰/۰۹۱ گرم) و وزن خشک گیاهچه (۰/۰۶۴ گرم) در شاهد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار حاصل شد (جدول ۲). البته پرایمینگ با کیتوزان با غلظت ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ نیز روی وزن تر و خشک گیاهچه تاثیر داشت (جدول ۲). در این تحقیق، استفاده از هیدروپرایمینگ (آب مقطر) و سطوح مختلف کیتوزان با اثرات نامطلوب تنش شوری مقابله کرده و وزن تر و خشک گیاهچه گلرنگ را افزایش یافت. پیش‌تیمار با سطوح مختلف کیتوزان با تحت تأثیر قرار دادن رشد محور جنین و افزایش هدایت الکتریکی، فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهچه و ساخت آنزیم‌های هیدرولیتیک و

[1] Wahid
[2] Bewley
[3] Devika
[4] Panahi
[5] Soltani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

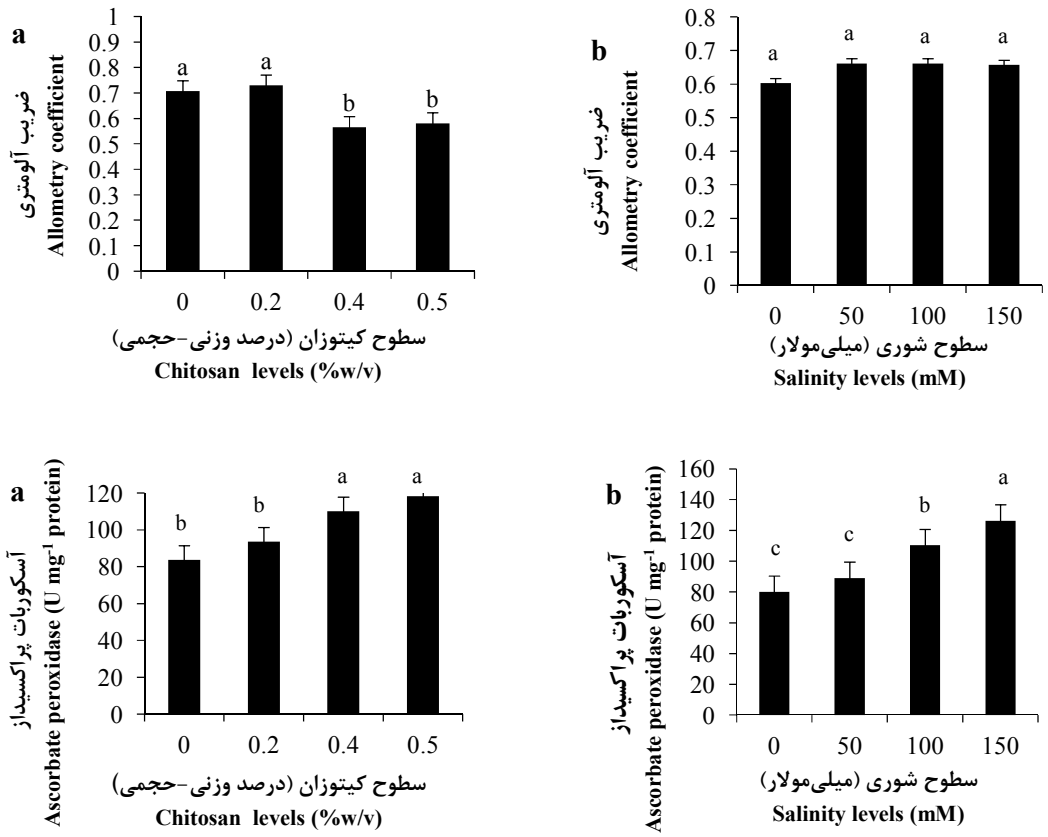
افزایش تحرک ذخایر بذر وزن تر و خشک گیاهچه را افزایش می‌دهد (امیدی[1] و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، علت افزایش وزن تر و خشک گیاهچه گلرنگ احتمالا به دلیل افزایش فعالیت میتوزی و افزایش تعداد سلول‌ها در ریشه‌چه و ساقه‌چه باشد که موجب افزایش تجمع ماده خشک سلولی می‌شود (احمدوند[2] و همکاران، ۲۰۲۳). پیش‌تیمار بذر با کیتوزان در بهترین غلظت (۰/۵ درصد)، با افزایش وزن تر و خشک گیاهچه و حفاظت از انسجام غشاهای سلولی، تاثیر تنش شوری را در گلرنگ کاهش می‌دهد، که مطابق با تحقیقات منصوری و همکاران (۲۰۱۶) است. کاهش وزن تر و خشک گیاهچه تحت تنش شوری در گیاه گلرنگ گزارش شده است (شهبازی و گلکار، ۲۰۱۶). کاهش وزن تر و خشک گیاهچه طی پیش‌تیمار با کیتوزان تحت تنش شوری در گیاهان مختلف نیز گزارش شده است (سعادت و صدقی، ۲۰۲۴: سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c)

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز: در این تحقیق، اثر ساده کیتوزان و شوری روی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها روی فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد و روی پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۲۳/۱ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) و پراکسیداز (۰/۲۶۶ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کم‌ترین آن‌ها به ترتیب ۷۰/۴ و ۰/۰۸۱ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و بدون حضور شوری به‌دست آمد (جدول ۲). پرایمینگ با کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد نیز بر فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز تاثیر داشت، به‌طوری‌که بعد از کیتوزان ۰/۵ درصد، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد کم‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را نشان دادند. بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۱۷/۸ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۵/۸ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (آب مقطر) و بدون حضور شوری مشاهده شد. البته کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد نیز در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مؤثر بود (جدول ۲).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: در این تحقیق، اثر ساده کیتوزان و شوری روی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها روی این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۱۱۸ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین) در پیش‌تیمار با کیتوزان ۰/۵ درصد و کم‌ترین آن (۸۳ واحد استاندارد (U) بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد به‌دست آمد (شکل ۱). پرایمینگ با کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ نیز اثر مثبتی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز داشت، به‌طوری‌که بعد از کیتوزان ۰/۵ درصد، کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد و هیدروپرایمینگ بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را نشان دادند. تشدید شوری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۱۲۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۱).

[1] Omidi
[2] Ahmadvand

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات ساده کیتوزان (a) و شوری (b) بر ضریب آلومتری و آسکوربات پراکسیداز در گلرنگ. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Figure 1. Mean comparison of the effect of chitosan (a) and salinity (b) on the allometry coefficient and ascorbate peroxidase activity in safflower. Different letters above bars indicate significant differences at the 5% probability level according to Duncan's test.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

طبق گزارش‌ها، افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده، محافظت بهتری در برابر تنش شوری و کاهش آسیب اکساینده ایجاد می‌کنند (ثابت و القوده[1]، ۲۰۲۳). سامانه پاداکسیدانی حیاتی‌ترین سامانه حفاظتی در جوانه‌زدن بذرهای پرایم شده برای تنظیم گونه‌های فعال اکسیژن تحت تنش غیرزیستی است (بانیرجی و رویچودهوری[2]، ۲۰۱۸). پیش‌تیمار بذر فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده مانند سوپراکسید دیسمیوتار را تشویق می‌کند و سطح پاداکساینده غیر آنزیمی را افزایش می‌دهد. این فعالیت‌ها مسئول جلوگیری از گونه‌های فعال اکسیژن و حفاظت از بذر با کاهش تولید پراکسید هیدروژن و سوپراکسید هستند (بیوسکی[3] و همکاران، ۲۰۱۹).

در این تحقیق، نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف اعمال شده، از یک الگوی مشابه پیروی می‌کند. به‌طوری که تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این راستا، در گیاهان بدون تنش که از بذرهای پرایم شده با آب مقطر رشد کرده بودند، فعالیت این آنزیم‌ها نسبت به سطوح مختلف شوری کمتر بود که نشانگر کاهش تولید پراکسید هیدروژن در این گیاهچه‌ها است. از طرف دیگر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهچه‌های تحت تنش شوری رشد یافته از بذرهای پرایم شده با کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ و ۰/۵ درصد کاهش یافت و فعالیت این آنزیم‌ها بطور عمده در گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای پرایم شده با کیتوزان ۰/۵ درصد کمتر از فعالیت آن‌ها در پیش‌تیمار با کیتوزان در غلظت ۰/۲ و ۰/۴ درصد بود. افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده تحت تنش شوری، تحمل شوری را در گیاهان ایجاد می‌کند (جووانوویس[4] و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از دلایل کاهش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده طی پیش‌تیمار با کیتوزان می‌تواند نشان از مقاوم بودن این گیاه نسبت به تنش شوری باشد، که طی آن تنش اکساینده و نشت الکترولیت کاهش یافته و دیگر نیاز به افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده طی مقابله با شرایط نامطلوب نیست. همچنین، آسیب رسیدن به سنتز RNA و حمله گونه‌های فعال اکسیژن تحت شوری می‌تواند موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده شود (بایلی[5] و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش آنزیم‌های پاداکساینده از جمله آسکوربات و سوپراکسید دیسموتار تحت تنش شوری در گیاه گلرنگ نیز گزارش شده است (شهبازی و گلکار، ۲۰۱۶). طبق تحقیقات، کیتوزان در مهار تنش اکساینده و تامین انرژی از طریق افزایش آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز عملکرد رضایت بخشی در گیاه گلرنگ داشت (ابدی‌آذر و همکاران، ۲۰۲۴).

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان می‌دهد که شوری اکثر صفات جوانه‌زنی را کاهش و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده را افزایش داد و این می‌تواند به دلیل تنش اکساینده باشد. اما پیش‌تیمار با سطوح مختلف کیتوزان صفات جوانه‌زنی را بهبود بخشید. آنزیم‌های پاداکساینده مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز با کم کردن سطح تولید گونه‌های فعال اکسیژن اثرات سوء تنش شوری را کاهش می‌دهند. به‌طور کلی بذرهای پرایم شده با کیتوزان ۰/۵ درصد نسبت به تیمار با کیتوزان ۰/۲ و ۰/۴ درصد پاسخ بهتری به تنش شوری نشان دادند و باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری گردیدند. بنابراین جهت بهبود تحمل به تنش شوری گیاه گلرنگ می‌توان با پرایمینگ بذر با استفاده از کیتوزان به نتیجه بهتری رسید.

[1] Thabet and Alqudah
[2] Banerjee and Roychoudhury
[3] Biosci
[4] Jovanović
[5] Bailly

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

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

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: هانیه سعادت، محمد صدقی تهیه گزارش پژوهش: هانیه سعادت تحلیل داده‌ها: هانیه سعادت

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر حمایت مالی/ حمایت معنوی/ همکاری در اجرای پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

References منابع

Abdiazar, N., Zahedi, H., Sharghi, Y., Seyed, A. M., Sanavy, M., & Alipour, A. (2024). Enhancing safflower seedlings' tolerance to osmotic stress through seed priming with glutathione, epibrassinolide, chitosan, and folic acid. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *102*(2), 208–216. https://doi.org/10.21608/EJAR.2024.271848.1518

Adhikari, B., Olorunwa, O. J., & Barickman, T. C. (2022). Seed priming enhances seed germination and morphological traits of *Lactuca sativa* L. under salt stress. *Seeds*, *1*(1), 74–86. https://doi.org/10.3390/seeds1010007

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, *105*, 121–126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Ahmadvand, B., Sharifzadeh, F., & Mirabzadeh Ardakani, M. (2023). The effect of hydro and osmo priming treatments on germination traits enhancement of *Sesamum indicum* L var. shevin seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science & Technology*, *11*(4), 1–16. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.359726.1446

Akhondi, M., Niakan, M., Mahmoodzadeh, H., & Dashti, M. (2020). Effect of zinc nano-oxide on germination indices and some mineral elements of (*Salvia leriifolia* Benth.) under saline stress conditions. *Journal of Medicinal and Spice Plants*, *24*(1), 19–27.

Azami, K., Hayashi, T., Kusumi, T., Ohmori, K., & Suzuki, K. (2019). Total synthesis of carthamin, a traditional natural red pigment. *Angewandte Chemie International Edition*, *58*(16), 5321–5326. https://doi.org/10.1002/anie.201814061

Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S. H., & Jowkar, M. (2023). The seed priming using putrescine improves germination indices and seedlings morphobiochemical responses of indigo (*Indigofera tinctoria*) under salinity stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, *13*(1), 179–188. https://doi.org/10.22034/jmpb.2023.128870

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., & Côme, D. (2000). Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Science Research*, *10*(1), 35–42. https://doi.org/10.1017/S0960258500000046

Banerjee, A., & Roychoudhury, A. (2018). Seed priming technology in the amelioration of salinity stress in plants. In A. Rakshit & H. B. Singh (Eds.), Advances in seed priming (pp. 81–93). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_5

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd ed.). Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4

Biosci, I. J., Khan, M. O., Khan, M. J., Khan, M. A., Shafi, M., & Anwar, S. (2019). Wheat yield as affected by sources of sulfur and its time of application. *International Journal of Biosciences*, *15*(6), 37–50. https://doi.org/10.12692/ijb/15.6.37-50

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Chapman, M. A., & Burke, J. M. (2007). DNA sequence diversity and the origin of cultivated safflower (*Carthamus tinctorius* L.; Asteraceae). *BMC Plant Biology*, *7*, 60. https://doi.org/10.1186/1471-2229-7-60

Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, Suman, A., & Rakshit. (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

Ebrahimi, O., Esmaili, M. M., Sabori, H., & Tahmasebi, A. (2013). Effects of salinity and drought stress on germination of two species of (*Agropyron elongatum*, *Agropyron desertrum*). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *1*(1), 31–38. [In Persian]

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Seed physiology and seed quality in soybean. In R. J. Summerfield & A. H. Bunting (Eds.), Advances in legume science (pp. 287–311). Royal Botanic Gardens.

Elouaer, M. A., & Hannachi, C. (2012). Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. *Eurasian Journal of Biosciences*, *6*, 76–84. https://doi.org/10.5053/ejobios.2012.6.0.9

Fan, K., Qin, Y., Hu, X., Xu, J., Ye, Q., Zhang, C., Ding, Y., Li, G., Chen, Y., & Liu, J. (2023). Identification of genes associated with fatty acid biosynthesis based on 214 safflower core germplasm. *BMC Genomics*, *24*, 763. https://doi.org/10.1186/s12864-023-09863-8

Farooq, M., Basra, S. M. A., Rehman, H., & Saleem, B. A. (2007). Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *194*(1), 55–60. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00287.x

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). FAOSTAT online database. Retrieved December 28, 2024, from http://www.fao.org/faostat/en/#home

Ghassemi-Golezani, K., Mousavi, S. A., & Farhangi-Abriz, S. (2024). Enriched biochars with silicon and calcium nanoparticles mitigated salt toxicity and improved safflower plant performance. *International Journal of Phytoremediation*, *26*(8), 1359–1368. https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2259980

Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, *59*(2), 309–314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

Gürsoy, M. (2023). Morphological and biochemical changes with hormone and hydro-priming applications in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings under salinity stress conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *51*(3), 13282. https://doi.org/10.15835/nbha51313282

Hemeda, H. M., & Klein, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*, *55*(1), 184–185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048.x

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Hiremath, U., Priyanka, M., Hosamani, A., Shivakumar, G., Bagli, B., & Doddagoudar, S. R. (2024). Response of seed priming to varied levels of salinity in safflower. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, *27*(12), 462–475. https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i121505

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

Imran, S., Sarker, P., Hoque, N., Chandra Paul, N., Mahamud, A., Chakrobortty, J., Arif, T., Latef, A. A. H. A., Hasanuzzaman, M., & Saidur Rahaman, M. (2022). Biochar actions for the mitigation of plant abiotic stress. *Crop and Pasture Science*, *74*(2), 1–21. https://doi.org/10.1071/CP21486

Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J. M. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080

Jisha, K. C., Vijayakumari, K., & Puthur, J. T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: An overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*, 1381–1396. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5

Jovanović, S., Kukavica, B., Vidović, M., Morina, F., & Menckhoff, L. (2018). Class III peroxidases: Functions, localization and redox regulation of isoenzymes. In D. K. Gupta & J. M. Palma (Eds.), Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants (pp. 269–300). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_13

Khan, M. K., Babar, S. F., Oryani, B., Dagar, V., Rehman, A., & Zakari, A. (2022). Role of financial development, environmental-related technologies, research and development, energy intensity, natural resource depletion, and temperature in sustainable environment in Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(1), 622–638. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15421-0

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

Mansouri, A., Ahmadi, A., & Omidi, H. (2016). The effect of chitosan and iron oxide nanoparticles on germination and early growth indicators of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress conditions. *Seed Research*, 7(3), 72–80. [In Persian]

Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(21), 8258. https://doi.org/10.3390/ijms21218258

Meftahizade, H., & Rahmati, Z. (2021). Evaluation of germination and growth characteristics of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under salinity stress condition. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10(2), 97–109. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2020.342298.1332

Ministry of Agriculture Jihad. (2022). Agricultural statistics (Vol. 1: Crops). Vice President of Statistics, Information and Communication Technology Center. [In Persian]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Mustafa, G., Akhtar, M. S., & Abdullah, R. (2019). Global concern for salinity on various agro-ecosystems. In M. S. Akhtar (Ed.), Salt stress, microbes, and plant interactions: Causes and solution (Vol. 1, pp. 1–19). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8801-9_1

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867–880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

Naseer, M. N., Rahman, F. U., Hussain, Z., Khan, I. A., Aslam, M. M., Aslam, A., Waheed, H., Khan, A. U., & Iqbal, S. (2022). Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake and chlorophyll contents of three Cucurbitaceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *65*, e22210165. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210165

Nawaz, M., Hassan, M. U., Chattha, M. U., Mahmood, A., Shah, A. N., Hashem, M., Alamri, S., Batool, M., Rasheed, A., Thabit, M. A., Alhaithloul, H. A. S., & Qari, S. H. (2022). Trehalose: A promising osmo-protectant against salinity stress—physiological and molecular mechanisms and future prospective. *Molecular Biology Reports*, *49*(12), 11255–11271. https://doi.org/10.1007/s11033-022-07681-x

Omidi, H., Sorushzadeh, A., Salehi, A., & Ghezeli, F. (2005). Evaluation of priming pretreatments on germination rapeseed. *Agricultural Science & Technology*, *19*(2), 1–10.

Panahi, M., Akbari, G. A., Roustakhiz, J., & Golbashi, M. (2012). Response of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) to salinity stress via germination and early seedling growth. *Iranian Journal of Science and Technology*, *12*, 211–222. [In Persian]

Rewald, B., Shelef, O., Ephrath, J. E., & Rachmilevitch, S. (2013). Adaptive plasticity of salt-stressed root systems. In P. Ahmad, M. M. Azooz, & M. N. V. Prasad (Eds.), Ecophysiology and responses of plants under salt stress (pp. 495–510). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4_19

Rhaman, M. S., Rauf, F., Tania, S. S., & Khatun, M. (2020). Seed priming methods: Application in field crops and future perspectives. *Asian Journal of Research in Crop Science*, *5*(2), 8–19. https://doi.org/10.9734/ajrcs/2020/v5i230066

Saadat, H., & Sedghi, M. (2024). The effect of seed priming with chitosan on the improvement of physiological and biochemical traits of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) under salinity stress. Russian Journal of Plant Physiology, 71, 187. https://doi.org/10.1134/S102144372460454X

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023a). Expression of gibberellin synthesis genes and antioxidant capacity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) seeds induced by chitosan under salinity. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *13*(4), 4715–4728. [In Persian]

Saadat, H., Soltani, E., & Sedghi, M. (2023b). The effect of seed priming with chitosan on germination characteristics and activity of antioxidant enzymes in rice seedlings (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Process and Function*, *12*(54), 239–258. [In Persian]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]

Saadat, T., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023c). Effect of chitosan on germination indices of common bean (*Phaseolus vulgaris*) (cv. Sedri) seeds under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *9*(2), 151–162. [In Persian] http://dx.doi.org/10.61186/yujs.9.2.151

Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, *163*(5), 1037–1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9

Shah, B. R., Li, Y., Jin, W., An, Y., He, L., Li, Z., Xu, W., & Li, B. (2016). Preparation and optimization of Pickering emulsion stabilized by chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for curcumin encapsulation. *Food Hydrocolloids*, *52*, 369–377. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.015

Shahbazi, E., & Golkar, P. (2016). Effects of salt stress on antioxidants activity and seedling traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Plant Process and Function*, *4*(14), 93–104. [In Persian]

Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006). Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, *138*(1–4), 156–167. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004

Tao, Q., Lv, Y., Mo, Q., Bai, M., Han, Y., & Wang, Y. (2018). Impacts of priming on seed germination and seedling emergence of *Cleistogenes songorica* under drought stress. *Seed Science & Technology*, *46*(2), 239–258. https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.2.06

Thabet, S. G., & Alqudah, A. M. (2023). New genetic insights into improving barley cope with salt stress via regulating mineral accumulation, cellular ion homeostasis, and membrane trafficking. *Environmental and Experimental Botany*, *208*, 105252. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105252

Wahid, A., Noreen, A., Basra, S. M. A., Gelani, S., & Farooq, M. (2008). Priming-induced metabolic changes in sunflower (*Helianthus annuus*) achenes improve germination and seedling growth. *Botanical Studies*, *49*(2), 343–350.

Xu, J., Lan, W., Ren, C., Zhou, X., Wang, S., & Yuan, J. (2021). Modeling of coupled transfer of water, heat and solute in saline loess considering sodium sulfate crystallization. *Cold Regions Science and Technology*, *189*, 103335. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103335

Zhang, F., Yu, J., Johnston, C. R., Wang, Y., Zhu, K., Lu, F., Zhang, Z., & Zou, J. (2015). Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. *PLOS ONE*, *10*(10), e0140620. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140620

Zulfiqar, F. (2021). Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, *286*, 110197. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110197

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-10-10]