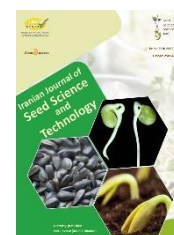




## Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

### Research Article

## Effect of Hormone Seed Priming Using Cytokinin on Improvement of *Salvia (Salvia sahendica)* Seed Germination Under Salinity Stress

Fahimeh Ghalavand<sup>1</sup>, Seyed Amir Moosavi<sup>2</sup> ,  
Mohammad Hossain Gharineh<sup>3</sup> , Mohammad Golbashy<sup>4</sup> 

1. MSc graduate seed science and Technology, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2. Associate Professor of Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
3. Professor of Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
4. Assistant Professor of Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

### Article Information

Received: 26 Mar. 2025  
Revised: 28 Apr. 2025  
Accepted: 29 Apr. 2025

#### Keywords:

Antioxidant,  
Vigor,  
Peroxidase,  
Salinity stress.

Corresponding Author:  
[amirmoosavi@asnrkh.ac.ir](mailto:amirmoosavi@asnrkh.ac.ir)



### Abstract

Plants are subjected to a variety of stress factors throughout their life cycles, which adversely affect their growth, development, and yield. This study was conducted in 2024 at the Seed Technology Laboratory of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan to investigate the effects of seed priming with cytokinin on enhancing salt stress tolerance during the germination and seedling growth stages of salvia (*Salvia sahendica*) under saline conditions. The research was designed as a factorial experiment within a completely randomized design. The first factor consisted of varying salinity levels (0, 50, 100, 200, and 250 mM NaCl), while the second factor involved seed priming treatments, comprising combinations of priming duration (12 and 24 hours) and cytokinin concentrations (0, 50, 100, 150, and 200 mg/L). The results indicated that increasing salinity levels significantly reduced germination characteristics and vigor in sage. However, seed priming with 50 mg/L cytokinin significantly mitigated the detrimental effects of salt stress on seed germination traits. Furthermore, the activities of the antioxidant enzymes catalase and peroxidase were enhanced in primed seeds, suggesting a protective role of these compounds against oxidative stress induced by salinity. Overall, the findings of this study demonstrate that seed priming with 50 mg/L cytokinin for duration of 24 hours serves as an effective treatment for improving germination and early seedling growth of sage, particularly under salt stress conditions.

**How to cite this paper:** Ghalavan, F., Moosavi, S.A., Gharineh, M.H., & Golbashy, M. (2026). Effect of hormone seed priming using cytokinin on improvement of salvia (*Salvia sahendica*) seed germination under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15 (2), 77-94. <https://doi.org/10.22092/ijst.2025.368990.1558>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Sage (*Salvia officinalis* L.), a member of the *Salvia* genus within the Lamiaceae family, is propagated through seeds. This plant is famous for its medicinal properties, attributed to the presence of bioactive compounds within its tissues. The leaves of sage contain constituents such as tannic acid, ursolic acid, fumaric acid, niacin, nicotinamide, flavanones, and caffeic acid, which have demonstrated efficacy in the treatment of conditions such as diabetes and hyperlipidemia. Furthermore, the essential oil of sage, rich in compounds like cineole, borneol, and thujone, has been recognized for its therapeutic potential in managing Alzheimer's disease. Abiotic stresses, such as salinity, hinders normal plant growth and development, resulted in substantial economic losses. Salinity modifies seed water uptake by elevating osmotic pressure and accumulating toxic ions such as sodium, thereby impairing enzyme activity, germination, and overall plant development. Seed priming with growth regulators, such as cytokinin, has emerged as an effective strategy to enhance germination and seedling growth under saline conditions. Cytokinin, a key plant hormone in regulating cell division and growth, plays a critical role in mitigating environmental stress responses. This study aims to investigate the effects of seed priming with cytokinin on salinity stress tolerance in sage, particularly during the germination and early seedling growth stages.

### Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replicates, performed in the Seed Technology Laboratory at Agricultural and Natural Resources University of Khuzestan in 2024. The first factor comprised salinity levels (0, 50, 100, 200, and 250 mM sodium chloride), while the second factor involved seed priming with cytokinin at varying concentrations (0, 50, 100, 150, and 200 mg L<sup>-1</sup>) and priming durations (12 and 24 hours). Seeds underwent a standard germination test (ISTA, 2012), with germination defined by the emergence of healthy radicles and shoots. The germinator temperature was maintained at 20°C, and petri dishes were inspected daily to count germinated seeds. For each replicate, 15

seedlings were randomly selected from three petri dishes, and their radicle and shoot lengths were measured. Priming was performed using 400 seeds per container in cytokinin solutions, followed by rinsing and air-drying prior to sowing. Antioxidant enzyme activities (peroxidase and catalase) were assessed using the methods of Hemeda and Klein (1990) at wavelengths of 470 nm and 240 nm, respectively. Traits evaluated included final germination percentage, germination rate index, germination index, seed vigor, and radicle and shoot lengths. Data were analyzed using Minitab version 16, with Tukey's test applied at a 5% significance level.

### Results

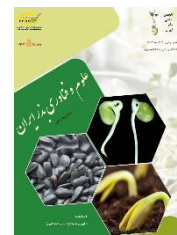
The findings revealed that cytokinin priming significantly enhanced radicle length under non-saline conditions, with the longest radicle (59.53 mm) recorded at 50 mg L<sup>-1</sup> cytokinin for 24 hours. Conversely, at 250 mM salinity without priming, no growth was observed. At moderate salinity (100 mM), primed plants exhibited improved growth (37.87 mm) compared to the control. Shoot length decreased with increasing salinity, with the maximum length (10.98 mm) observed at 50 mg L<sup>-1</sup> cytokinin for 24 hours under non-saline conditions. The final germination percentage reached 93.33% in the aforementioned treatment but declined significantly at severe salinity levels (200 and 250 mM). The germination rate index peaked (10.17) at 50 mg L<sup>-1</sup> cytokinin for 12 hours under non-saline conditions. Both germination index and seed vigor improved in primed treatments but diminished with rising salinity. Antioxidant enzyme activities increased in primed treatments, potentially contributing to enhanced salinity stress tolerance.

### Conclusion

Seed priming of sage with cytokinin, particularly at 50 mg L<sup>-1</sup> for 24 hours, significantly improved germination, radicle and shoot growth, and salinity stress tolerance. This technique mitigates the adverse effects of salinity by enhancing antioxidant enzyme activity and regulating cell division, offering a promising approach for sustainable agriculture.



## نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

اثر هورمون پرایمینگ با سیتوکنین در بهبود شاخص های جوانه زنی بذر  
مریم گلی سهندی (*Salvia sahendica*) تحت تنش شوریفهیمه قلاوند<sup>۱</sup>، سید امیر موسوی<sup>۲</sup>، محمد حسین قرینه<sup>۳</sup>، محمد گلباشی<sup>۴</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.
۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.
۴. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

## واژه های کلیدی:

آنتی اکسیدانت،  
بنیه،  
پراکسیداز،  
تنش شوری.

## نویسنده مسئول:

[amirmoosavi@asnrkh.ac.ir](mailto:amirmoosavi@asnrkh.ac.ir)

گیاهان در طول چرخه زندگی خود، تحت تأثیر عوامل تنش زای متعدد قرار می گیرند که باعث کاهش رشد، نمو و عملکرد آن ها می شوند. این پژوهش با هدف بررسی اثر پرایمینگ بذر با سیتوکنین بر افزایش تحمل به تنش شوری در مرحله جوانه زنی رشد گیاهچه گیاه مریم گلی سهندی در شرایط تنش شوری، در سال ۱۴۰۳ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. به همین منظور، آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. عامل اول، سطوح مختلف شوری (۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) و عامل دوم پرایمینگ بذر متشکل از ترکیب مدت زمان پرایمینگ (۱۲ و ۲۴ ساعت) و غلظت های هورمون سیتوکنین (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری، ویژگی های جوانه زنی و بنیه بذر مریم گلی بطور معنی داری کاهش یافتند. با این حال، پرایمینگ بذر با سیتوکنین ۵۰ میلی گرم بر لیتر سبب کاهش معنی دار خسارت تنش شوری به ویژگی های جوانه زنی بذر شد. همچنین، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز در بذرهای پرایم شده افزایش یافت، که نشان دهنده نقش محافظتی این ترکیبات در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری است. نتایج این پژوهش به طور کلی نشان می دهد که تیمار پرایمینگ با ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیتوکنین و مدت زمان ۲۴ ساعت به عنوان یک تیمار موثر برای بهبود جوانه زنی و رشد اولیه گیاهچه گیاه مریم گلی، به ویژه در شرایط تنش شوری، عمل می کند.

## نحوه استناد به این مقاله:

Ghalavan, F., Moosavi, S.A., Gharineh, M.H., Golbashy, M. (2026). Effect of hormone seed priming using cytokinin on improvement of salvia (*Salvia sahendica*) seed germination under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15 (2), 77-94. <https://doi.org/10.22092/ijst.2025.368990.1558>

## مقدمه

مریم گلی (*Salvia sahendica*)، گیاهی از جنس سالویا است که یکی از بزرگترین جنس‌های تیره نعنائیان (*Lamiaceae*) به شمار می‌رود. این گیاه از دیرباز به عنوان گیاه دارویی در درمان بسیاری از بیماری‌ها از عفونت‌های باکتریایی و قارچی تا درمان التهاب و ناراحتی‌های گوارشی کاربرد داشته است (Abdollahi Ghahi et al., 2019; Ghotbabadi et al., 2012; Jakovljevic et al., 2019; Zalhinah et al., 2022). مریم گلی توسط بذر تکثیر می‌شود و در مرحله جوانه‌زنی، گیاهچه آن قادر است تا در ۵۰ میلی‌مولار تنش شوری به خوبی رشد نماید (Ebadi et al., 2013). گزارش شده است که استفاده از پرایمینگ هورمونی با جیرلین در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام، سبب بهبود و تسریع تکمیل فرایند جوانه‌زنی بذرهای مریم گلی سهندی می‌شود (Hedayati et al., 2022).

تنش‌های غیرزیستی سالانه خسارات اقتصادی هنگفتی به کشاورزان وارد می‌کنند و منجر به کاهش قابل توجه تولید محصولات کشاورزی می‌شوند. بر اساس تحقیقات انجام شده، این خسارات سالانه به بیش از ۱۰۰ میلیون دلار می‌رسد (Khorosan et al., 2020). در میان تنش‌های غیرزیستی، شوری یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که گیاهان با آن روبرو هستند. افزایش فشار اسمزی در سلول‌های گیاهی و تجمع یون‌های سمی مانند سدیم، از جمله عواملی هستند که رشد و نمو گیاهان را در شرایط شوری محدود می‌کنند (Zhao et al., 2021). در شرایط تنش شوری، کاهش پتانسیل اسمزی بذرها مانع جذب کافی آب شده و تنش اسمزی ایجاد می‌کند. این تنش، با اختلال در فرآیندهای حیاتی سلولی و کاهش فعالیت آنزیم‌ها، در نهایت به مرگ یا عدم جوانه‌زنی بذر منجر می‌شود (Mwando et al., 2020). تأثیر اولیه شوری بر گیاهان، تأخیر در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه است (Uçarlı et al., 2020). در این راستا، شاخص‌هایی مانند درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر، معیارهای مهمی برای ارزیابی تحمل گیاهان به شوری در مرحله جوانه‌زنی محسوب می‌شوند (Bybordı, 2010).

پرایمینگ بذر، مجموعه‌ای از روش‌ها را شامل می‌شود که اساس آن‌ها کنترل فرایند آبنوشی و در صورت نیاز اضافه کردن برخی مواد مانند تنظیم‌کنندگان رشد گیاهی است. هدف از

پرایمینگ بذرها، ایجاد توانایی جوانه‌زنی سریع‌تر و رشد قوی‌تری گیاهچه پیش از کاشت است (Biswas et al., 2023). پرایمینگ بذر از طریق مکانیسم‌های مختلف، رشد گیاه را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. این روش به عنوان یک ابزار کارآمد برای بهبود پارامترهای مرتبط با فتوسنتز شناخته شده است (Ul Sahar et al., 2023). یکی از روش‌های موثر برای کاهش اثرات منفی تنش شوری بر گیاهان، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد (هورمون‌ها) است (Azadi et al., 2021). هورمون‌ها به عنوان پیام‌رسان‌های شیمیایی در گیاهان عمل می‌کنند و بر فرآیندهای رشد و نمو در بخش‌های مختلف گیاه از جمله ریشه، ساقه، برگ، گل و میوه تأثیر می‌گذارند (Zhao, 2010). اکسین و سیتوکینین از جمله هورمون‌هایی هستند که نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند و در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی مانند شوری نیز دخیل هستند (Wang et al., 2001). مطالعات نشان داده‌اند که تنش شوری می‌تواند به طور قابل توجهی سرعت جوانه‌زنی بذر را کاهش دهد، زیرا این تنش توانایی گیاهان را در جذب آب کاهش داده و در نتیجه منجر به مهار رشد و کاهش عملکرد آن‌ها می‌شود (Li et al., 2020). اعمال شوری بالاتر از ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی گیاه مریم گلی می‌شود و علائم زردی و سوختگی در گیاهان مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، گیاه مریم گلی تا سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را تحمل می‌کند و به سطوح بالاتر شوری حساس است (Heydari et al., 2020). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تنش شوری تأثیر منفی بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه دارد. برای مثال، کاهش جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه کنجد، سویا و چغندر قند را در شرایط شور گزارش کرده‌اند (Anjomani et al., 2017; Baqizadeh et al., 2020; Nejadhabibvash, 2021). همچنین در مطالعه‌ای بر روی ارقام مختلف کدو تنبل، نشان دادند که جوانه‌زنی (GP)، میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT) و شاخص ارزش بذر (SVI) تحت تأثیر همزمان تنش شوری و رقم قرار می‌گیرند. افزایش سطح شوری منجر به کاهش ۱۰.۱۶ درصدی میانگین GP، افزایش ۱۵.۵ درصدی MGT و کاهش ۴۶.۹ درصدی SVI شد.

(El-Ghamery & Mousa, 2017). در مواجهه با تنش شوری، گیاهانی نظیر برنج، آرابیدوپسیس و سایر گونه‌های گیاهی، شاهد افزایش سطوح سیتوکینین در ساختار سلولی خود هستند (Joshi et al., 2018). در برخی گونه‌های گیاهی، افزایش سطح سیتوکینین به عنوان یک مکانیسم دفاعی عمل کرده و اثرات مخرب ناشی از تنش شوری را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. سیتوکینین با افزایش میزان کلروفیل در گیاهانی مانند بادرنبویه (Veliyari & Nourafkan, 2017) در شرایط تنش، به بهبود فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه کمک می‌کند. همچنین، مطالعات نشان داده‌اند که سیتوکینین می‌تواند ارتفاع بوته گیاهانی مانند فیلودندرون را افزایش دهد (He et al, 2018). از آنجایی که یکی از اثرات مهم تنش شوری، اختلال در تقسیم سلولی است، استفاده از پرایمینگ بذر با سیتوکینین می‌تواند به عنوان یک روش موثر برای افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مریم گلی در شرایط شوری مطرح شود. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر هورمون سیتوکینین بر میزان تحمل به تنش شوری مریم گلی در هنگام جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه انجام شد.

### مواد و روش

این آزمایش با هدف بررسی اثر هورمون سیتوکینین بر کیفیت بذر مریم گلی تحت شرایط تنش شوری و به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۴۰۳ اجرا شد. بذره‌های مریم گلی مورد استفاده در این مطالعه در سال ۱۴۰۳ و از شرکت گلباران سبز گیلان تهیه شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. عامل نخست شامل سطوح مختلف شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) و عامل دوم شامل تیمار پرایمینگ بذر بود که از ترکیب مدت‌زمان پرایمینگ (۱۲ و ۲۴ ساعت) و غلظت‌های مختلف هورمون سیتوکینین (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) تشکیل شده بود. برای انجام پرایمینگ با سیتوکینین، در هر ظرف پرایم، ۴۰۰ بذر شمارش و قرار داده شد. سپس محلول پرایم به ظروف افزوده شد و ظروف

(Irik et al., 2024). علاوه بر این، در یک پژوهشی کاهش معنی دار درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص بنیه بذر گندم را در شرایط شور گزارش شده است (Albaji et al, 2023) در مطالعه دیگری گزارش شده است که غلظت‌های نمک تا ۱۰۰ میلی مولار تأثیر قابل توجهی بر رشد مریم گلی ندارد، اما در سطوح بالاتر، رشد گیاه به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Camlica et al., 2019). همچنین گزارش شده است که تنش شوری بر سه مرحله فیزیولوژیکی مهم گیاهان دارویی از جمله جوانه‌زنی، رشد اولیه گیاهچه و بلوغ گیاهچه تأثیر گذار است (Mondal & Kaur, 2017).

سیتوکینین به عنوان یکی از مهم‌ترین مولکول‌های سیگنال‌دهنده در گیاهان، نقش محوری در تنظیم جنبه‌های مختلف رشد و نمو آن‌ها ایفا می‌کند. سطح سیتوکینین فعال زیستی تحت تأثیر تعادل ظرفی بین فرآیندهای مختلفی مانند بیوسنتز، فعال‌سازی، غیرفعال‌سازی، بازفعال‌سازی و تجزیه قرار دارد. علاوه بر این، سیتوکینین و مسیرهای سیگنال‌دهی وابسته به آن، نقش کلیدی در تنظیم فرآیندهای حیاتی مانند توسعه، خواب بذر و جوانه‌زنی ایفا می‌کنند (Song et al., 2021). اگرچه سیتوکینین‌ها به عنوان هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و تقسیم سلولی شناخته شده‌اند، تحقیقات اخیر نشان داده است که این مولکول‌های کوچک عملکردهای متنوع‌تری دارند، از جمله نقش محوری در پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی (Albrecht et al., 2017). مطالعات متعدد، ارتباط قابل توجهی بین سطح سیتوکینین، سیگنال‌دهی و بیوسنتز آن با تحمل تنش شوری در طیف وسیعی از گیاهان را نشان داده است (Yan et al., 2021). بیان شده است که تیمار بذره‌های زوال یافته با هورمون‌های سیتوکینین و جبریلین منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود. در این میان، هورمون سیتوکینین تأثیر بیشتری بر افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در بذره‌های زوال یافته داشته است (Rashidi et al, 2018). گزارش شده است که کاربرد بنزیل آدنین بر رشد رویشی و گلدهی گیاه داودی در شرایط تنش شوری نتایج مثبتی داشته است (Farag et al., 2018). افزایش غلظت بنزیل آدنین، منجر به افزایش چشمگیر جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه در گیاهان سیاهدانه و پیاز می‌شود

### شاخص بنيه (VI)

با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد که در آن VI شاخص بنيه،  $L_s$  میانگین طول ساقه چه و ریشه چه (mm) و Pg درصد جوانه زنی کل در پایان آزمایش است (Abdul-Baki, 1973).

$$VI = (IS \times Pg) / 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

### طول گیاهچه ها (طول ریشه چه و ساقه چه)

با استفاده از پردازش شکل دیجیتال به کمک نرم افزار Digimizer نسخه ۶، اندازه گیری شد.

به منظور تعیین علت فیزیولوژیکی تیمار برتر پرایمینگ، پس از تجزیه داده ها و انتخاب تیمار پرایمینگ برتر، میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت (پراکسیداز و کاتالاز) در این تیمار و تیمار شاهد پرایم نشده در شرایط تنش شوری مورد بررسی و سنجش قرار گرفت. برای سنجش میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی اقدام به تهیه عصاره شد، بدین منظور ۰/۲ گرم از نمونه گیاهی به کمک ترازو وزن کرده و درون هاون چینی قرار داده شد، سپس ۰/۰۲ گرم PVP و مقدار ۲ میلی لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی مولار با  $pH=7$  حاصل از ترکیب نمک  $(KH_2PO_4)$  و  $(K_2HPO_4)$  را روی هر نمونه ریخته و سپس توسط دسته هاون نمونه گیاهی را خوب سائیده تا محلولی یکنواخت حاصل شود. سپس عصاره خارج شده را درون یک میکروتیوب ۲ ماکرولیتری ریخته و بعد از انجام این مرحله میکروتیوب ها را به دستگاه سانتریفیوژ با دمای ۴ درجه سانتی گراد با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه منتقل کرده تا عمل سانتریفیوژ انجام شود، پس از انجام عمل سانتریفیوژ عصاره گیاهی در دو فاز جداگانه بدست می آید که در نهایت فاز رویی را از فاز پایینی جدا کرده و تحت عنوان عصاره از آن استفاده می شود.

برای درک بهتر نقش فیزیولوژیکی پرایمینگ بذر با هورمون سیتوکنین، تیمار پرایمینگ انتخاب شده که بهترین بنيه بذر مریم گلی را در شرایط تنش شوری ایجاد نمود همراه با تیمار بذر پرایم نشده در تمامی سطوح تنش شوری مجدد کشت شدند. سپس میزان فعالیت آنزیم های پراکسیداز و کاتالاز به عنوان دو آنزیم آنتی اکسیدان مهم برای تحمل به تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت. برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز، از روش همدا و

با نایلون پوشانده شدند. ظروف حاوی بذر به ژرمیناتور منتقل شدند و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ یا ۲۴ ساعت نگهداری شدند. پس از اتمام این مدت، بذر ها از ژرمیناتور خارج، شستشو و خشک شدند. در نهایت، بذر های آماده شده برای کشت مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور ارزیابی درصد جوانه زنی نهایی و برخی ویژگی های مرتبط، بذر های جدا شده تحت آزمون استاندارد جوانه زنی، مطابق با استانداردهای انجمن بین المللی آزمون بذر به صورت روی کاغذ و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و شرایط تاریکی (ISTA, 2017) قرار گرفتند. بررسی روزانه پتری ها جهت شمارش بذر های جوانه زده از ۲۴ ساعت پس از کشت، در ساعتی مشخص انجام شد. شمارش بذر ها تا زمانی که دو شمارش متوالی تغییری ایجاد نداشته باشند و بر اساس دستورالعمل ارائه شده در فصل پنجم کتابچه ایستا (۵۰-۵) تا روز بیست و یکم انجام گرفت. برای ارزیابی صفات طول ریشه چه، طول ساقه چه و بنيه بذر، در هر تکرار و هر سطح تیماری، از هر پتری پنج گیاهچه بطور تصادفی برداشت و مورد سنجش قرار گرفت (Abdul-Baki & Anderson, 1973). میانگین این مقادیر به عنوان طول ریشه چه و ساقه چه آن تکرار ثبت گردید.

صفاتی از قبیل طول ریشه چه، طول ساقه چه، درصد جوانه زنی، شاخص سرعت جوانه زنی، شاخص جوانه زنی، بنيه بذر اندازه گیری شد.

### درصد جوانه زنی نهایی (FGP)

از تعداد بذور جوانه زده تقسیم بر تعداد بذور کشت شده و ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد.

### شاخص سرعت جوانه زنی (GRI)

طبق فرمول زیر محاسبه شد (Esechie, 1994).

$$Gn/n \ G2/2 + GRI = G1/1 + \dots + \quad \text{رابطه (۱)}$$

که  $G_1$ ،  $G_2$  و  $G_n$  به ترتیب تعداد بذر های جوانه زده در روز اول، دوم و روز n ام هستند.

### شاخص جوانه زنی (GI)

بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Maguire, 1962).

$GI =$  شاخص جوانه زنی  $GI =$  تعداد بذور جوانه زده در  $n$  ام.

$$GI = \sum [(G_i - G_{i-1}) / i] \quad \text{رابطه (۲)}$$

به‌عنوان شاهد در اسپکتروفتومتر استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۱۶ و دستور ANOVA به صورت مدل آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌های آزمایشی با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، داده‌ها توسط تجزیه واریانس تحلیل و میانگین‌ها با آزمون توکی و در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عوامل اصلی (پرایمینگ و تنش شوری) و همچنین اثر متقابل این دو عامل بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۱).

کلاین (Hemeda and Klein, 1990) در طول موج ۴۷۰ نانومتر استفاده شد. مخلوط واکنشی شامل ۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (با pH برابر ۷)، ۲۵۰ میکرولیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار (محلول در آب دوبار تقطیر)، ۳۴ میکرولیتر آب اکسیژنه ۷۰ میلی‌مولار (حل‌شده در بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با pH برابر ۷)، ۴۶۷ میکرولیتر آب دوبار تقطیر استریل و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت ویژه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌صورت واحد بر میلی‌گرم پروتئین گزارش گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز نیز در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنشی شامل ۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (با pH برابر ۷)، ۲۵۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۷۰ میلی‌مولار (محلول در بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار)، ۵۰۰ میکرولیتر آب مقطر استریل و ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. از مخلوط واکنشی فاقد عصاره آنزیمی

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر پرایمینگ بذر با سیتوکنین در زمان‌های مختلف و تنش شوری بر صفات جوانه‌زنی گیاه مریم‌گلی

Table 1- Analysis of variance to assess the impact of cytokinin seed priming duration and salinity stress on the germination characteristics of sage

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Ms)					
		درصد جوانه‌زنی نهایی Final Germination Percentage	شاخص جوانه‌زنی Germination Index	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination Rate Index	طول ساقه‌چه Shoot Length	طول ریشه‌چه Radicle Length	بنیه بذر Seed Vigor
پرایمینگ (Priming)	10	15.94**	23.73**	1136.09**	3259.28**	790.90**	781.14**
تنش شوری (Salinity stress)	4	192.66	164.14**	11831.85**	38020.09**	3161.99**	2435.72**
پرایمینگ × تنش شوری (Priming × Salinity stress)	40	1.37**	1.42**	153.98**	344.15**	139.56**	145.06**
خطای آزمایشی (Error)	110	0.55	0.47	75.05	146.81	3	2.45
ضریب تغییرات (درصد) (C.V%)		13.94	18.19	13.71	13.56	15.48	14.03

### درصد جوانه‌زنی نهایی

جوانه‌نی را از خود نشان دادند. با این حال، در تنش‌های شدیدتر (۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار)، درصد جوانه‌زنی به طور قابل توجهی کاهش یافت و تیمارهای پرایمینگ نتوانستند به طور کامل اثرات منفی شوری را جبران کنند. کمترین میزان جوانه‌زنی (۱۴/۶۶ درصد) در شاهد تحت تنش ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد، که نشان‌دهنده محدودیت‌های فیزیولوژیکی بذر در این شرایط

نتایج بدست آمده نشان داد که تیمار پرایمینگ با سیتوکنین می‌تواند جوانه‌زنی مریم‌گلی را بطور معنی‌داری بهبود بدهد. بالاترین میزان جوانه‌زنی (۹۳/۳۳ درصد) از تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین به مدت ۲۴ ساعت و در شرایط بدون تنش شوری ایجاد شد (جدول ۲). با افزایش سطوح شوری به ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار همچنان تیمارهای پرایمینگ توانایی بهبود

با افزایش شوری، پتانسیل اسمزی آب کاهش می‌یابد و در نتیجه، جذب آب توسط بذر (آب‌نوشی) کاهش می‌یابد. علاوه بر این، به دلیل جذب بیش از حد یون‌های سدیم و کلر، باعث ایجاد تنش یونی و مسمومیت گیاهچه می‌شود که در نهایت منجر به اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی از جمله متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین، تولید انرژی و تنفس می‌گردد (Mwando et al., 2020). شوری همچنین تعادل مواد مغذی و هورمون‌ها، به ویژه نسبت جبریلین (GA) به اسید آبسزیک (ABA)، را در طول جوانه‌زنی مختل می‌کند. در نتیجه، سطح بالای شوری بسته به تحمل گیاه به نمک، موجب تأخیر و حتی مهار جوانه‌زنی بذر می‌شود. تعادل پویای بین تولید و خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند رادیکال‌های هیدروکسیل، سوپراکسید و پراکسید هیدروژن می‌تواند در اثر تنش شوری بالا مختل شود. ROS به مولکول‌های درشت از جمله پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها یا ساختارهای سلولی مانند غشاء آسیب می‌رساند و در نهایت مانع جوانه‌زنی بذر می‌گردد (Ibrahim, 2016). تیمار هورمون پرایمینگ با سیتوکنین می‌تواند شاخص جوانه‌زنی بذر را خصوصاً در شرایط تنش شوری بطور موثری بهبود بخشد. تیمار ۵۰ ppm سیتوکنین شاخص جوانه‌زنی بذرهای برنج در شرایط تنش شوری در مقایسه با بذرهای پرایم نشده بطور معنی‌داری افزایش خواهد داد (Sour et al., 2024).

### شاخص سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص سرعت جوانه‌زنی (جدول ۲) نشان داد که تیمار پرایمینگ با ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین و مدت زمان ۱۲ ساعت در شرایط عدم تنش شوری، بالاترین شاخص سرعت جوانه‌زنی (۱۰/۱۷) را در مقایسه با شاهد (۶/۸۴) به خود اختصاص داد. این یافته نشان‌دهنده تأثیر متقابل معنی‌دار بین سطح شوری، نوع پرایمینگ و مدت زمان تیمار بر سرعت جوانه‌زنی گیاه است با افزایش تنش شوری به ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، اثرات مثبت پرایمینگ کاهش یافت و در بالاترین سطح شوری (۲۵۰ میلی‌مولار)، شاخص جوانه‌زنی در تمامی تیمارها به مقادیر ناچیز (۰/۶۴ تا ۳/۵۳) رسید. با افزایش سطح شوری، به طور کلی، شاخص سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. با

است. تنش شوری که معمولاً توسط کلرید سدیم ایجاد می‌شود، تأثیر نامطلوب و منفی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه بذر بسیاری از گونه‌های گیاهی دارد. کاهش درصد جوانه‌زنی بذر در اثر تنش شوری در گونه‌های مختلف مثل گندم (Feghhenabi et al., 2020)، مریم‌گلی (Kadioğlu et al., 2021) و جعفری (Ewase et al., 2013) گزارش شده است. افزایش غلظت نمک، غالباً منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی خواهد شد. شوری زیاد باعث ایجاد تنش اسمزی و سمیت یونی خواهد شد (Irik and Bikmaz, 2024; Munnes, 2022) و از این طریق جذب آب توسط بذر را دشوار می‌سازد و سبب تأخیر و کاهش معنی‌دار در درصد بذرهای جوانه‌زده می‌شود (Artf et al., 2020).

### شاخص جوانه‌زنی

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که در شرایط بدون تنش شوری (شاهد)، تیمار پرایمینگ با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین و مدت زمان ۱۲ ساعت با شاخص ۱۴۹/۳۳ بالاترین مقدار و کمترین مقدار نیز به شاهد به میزان ۱۱۹/۶۶ تعلق داشت. برتری تیمار پرایمینگ در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نیز مشهود بود. در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، تیمارهای ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۱۲ ساعت و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۱۲ ساعت به ترتیب با شاخص‌های ۱۳۶ و ۱۳۲/۳۳ نسبت به شاهد (۱۰۱/۶۶) عملکرد بهتری داشتند، که نشان‌دهنده توانایی پرایمینگ در کاهش اثرات منفی شوری متوسط است. با افزایش تنش به ۱۵۰ میلی‌مولار، تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۱۲ ساعت (۱۲۳/۶) و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۱۲ ساعت (۱۱۵/۳۳) همچنان با شاخص جوانه‌زنی بالاتر از شاهد (۶۸) را نشان دادند. بطور کلی روند تغییرات شاخص جوانه‌زنی با افزایش سطوح تنش شوری به صورت کاهشی بود. در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار، بهترین تیمار (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۲۴ ساعت با ۸۷/۳۳) نسبت به شاهد (۱۱/۶۶) عملکرد بهتری داشت، اما افت شدید در میزان شاخص جوانه‌زنی مشهود بود. مر مطالعه‌ای که به نقش هورمون سیتوکنین در افزایش کیفیت جوانه‌زنی بذرهای سیاهدانه پرداخته شده بود، نتایج بدست آمده حاکی از تأثیر مثبت هورمون پرایمینگ بذرهای سیاهدانه با سیتوکنین بر افزایش سرعت و شاخص جوانه‌زنی بذرهای سیاهدانه بود (Savaedy et al., 2024).

گیاهانی که با سیتوکنین پرایم شده بودند، رشد ریشه‌ای بیشتری نسبت به گیاهان پرایم نشان دادند (جدول ۲). نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که سیتوکنین می‌تواند به رشد گیاهچه در شرایط شوری شدید کمک کند. سیتوکنین‌ها معمولاً به صورت آنتاگونیست با اسید آبسزیک عمل می‌کنند و گزارش شده است که سیتوکنین قادر به افزایش تحمل گیاه به تنش شوری است. بهبود رشد ریشه در تیمارهای پرایم شده می‌تواند ناشی از نقش سیتوکنین در ایجاد تعادل یونی و بهبود پایداری غشاء سلولی بذرها و مریم‌گلی خصوصاً در شرایط تنش شوری باشد. گزارش شده است که پرایم نمودن بذرها با هورمون سیتوکنین سبب بهبود پایداری غشاء و تنظیم پایدار سطح یون‌ها در بذرها می‌شود (Rhaman et al., 2020). همچنین گزارش شده که استفاده از هورمون سیتوکنین در پرایمینگ بذرها با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی سبب بهبود ویژگی‌های رشد گیاهچه‌های بادام زمینی گردیده است (Sepehri et al., 2016). مطالعه اثر پرایمینگ بذر با سیتوکنین نشان داد که استفاده از این هورمون بطور معنی‌داری رشد ریشه‌چه گندم را در شرایط تنش شوری افزایش داد (Iqbal et al., 2006). کاربرد خارجی سیتوکنین می‌تواند محتوای داخلی این هورمون را نیز افزایش دهد، همچنین بهبود قابل توجهی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کارایی فتوسنتز ایجاد می‌نماید که این مطلب شاید دلیل بهبود تحمل به تنش‌های غیر زنده در بذر است (Azzam et al., 2022; Vedenicheva et al., 2021).

#### طول ساقه‌چه

نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری، به طور کلی، طول ساقه‌چه در تمام تیمارها کاهش یافت. بیشترین طول ساقه‌چه (۱۰/۹۸ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ بذر با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین به مدت ۲۴ ساعت و در شرایط عدم تنش شوری ایجاد شد در حالی که در تیمار بدون پرایمینگ طول ساقه‌چه تنها ۴/۱۱ میلی‌متر بود این برتری احتمالاً ناشی از نقش سیتوکنین در تحریک تقسیم سلولی در مریستم ساقه‌چه و افزایش تولید پروتئین‌های موثر در تحمل به تنش می‌تواند باشد. مدت زمان پرایمینگ ۲۴ ساعت نیز زمان بهینه آزمایش بوده است و احتمالاً به دلیل فراهم نمودن زمان کافی برای جذب آب و فعالسازی مسیرهای سیگنالینگ سیتوکنین را فراهم ساخته بدون اینکه به

این حال، در اکثر سطوح شوری، تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین و ۱۲ ساعت مدت زمان پرایمینگ بذر به طور متوسط بالاترین شاخص سرعت جوانه‌زنی را داشت. به عنوان مثال، در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، همین تیمار پرایمینگ با میانگین ۸/۶۵ بالاترین شاخص را داشت، در حالی که پرایمینگ (۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین) با میانگین ۵/۲۷ پایین‌ترین شاخص را نشان داد. تنش شوری به طرق مختلفی می‌تواند در جوانه‌زنی اختلال ایجاد کند. یکی از مهمترین اختلال‌هایی که توسط تنش شوری بر جوانه‌زنی بذرها تأثیر گذار است، برهم خوردن تعادل میان هورمون‌ها است. تنش شوری سبب افزایش بیان ژن‌های مرتبط با هورمون اسید آبسزیک و کاهش بیان ژن‌های مرتبط با اسید جیبرلیک می‌شود. کاهش میزان فعالیت هورمون جیبرلین باعث افت متابولیسم بذر در جوانه‌زنی و کاهش سرعت جوانه‌زنی خواهد شد (Shu et al., 2017; Zhang et al., 2024). هورمون پرایمینگ بذر گندم با سیتوکنین در شرایط تنش شوری باعث بهبود سرعت جوانه‌زنی از طریق کاهش غلظت اسید آبسزیک، افزایش غلظت اکسین و بهبود تحمل به تنش شوری گردید (Iqbal et al., 2005). مطالعه انجام شده روی جوانه‌زنی بذر *Momordica charnata* L. داد که تیمار هورمون پرایمینگ باعث افزایش معنی‌دار شاخص سرعت جوانه‌زنی گردید (Muttaleb et al., 2022).

#### طول ریشه‌چه

نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار هورمون سیتوکنین در شرایط بدون شوری، باعث افزایش طول ریشه‌چه شده است. بیشترین طول ریشه (۵۹/۵۳ میلی‌متر) در گیاهانی دیده شد که به مدت ۲۴ ساعت با ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیتوکنین تیمار شده بودند. برعکس، گیاهانی که در معرض بیشترین میزان شوری (۲۵۰ دسی‌زیمنس بر متر) قرار داشتند و سیتوکنین دریافت نکرده بودند، هیچ رشدی در ریشه نشان ندادند. در شرایط شوری متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار)، گیاهانی که با سیتوکنین تیمار شده بودند، رشد ریشه‌ای بهتری نسبت به سایر گیاهان داشتند (۳۷/۸۷ میلی‌متر). بذرهایی که هیچ سیتوکنینی دریافت نکرده بودند، کمترین رشد ریشه را نشان دادند (۵/۲۵ میلی‌متر) همچنین در شرایط سطوح بالای تنش شوری (۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار)،

ایجاد کرد، در حالی که کمترین شاخص بنیه به تیمار بدون پرایم بود. نهایتاً، در بالاترین سطح شوری (۲۵۰ میلی‌مولار)، تیمار پرایمینگ (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر هورمون سیتوکنین) بیشترین شاخص بنیه را به خود اختصاص داد. سیتوکنین یکی از هورمون‌های مهم گیاهی محسوب می‌شود که در بسیاری از فرایندهای حیاتی گیاه مانند تقسیم سلولی، تمایز و بسیاری از دیگر فرایندهای نمودی نقش دارد. در کنار تمامی این نقش‌های کلاسیک، گزارش‌ها آشکار ساخته که سیتوکنین‌ها در پاسخ‌های دفاعی گیاه به انواع تنش‌های نقش دارند (Liu et al., 2020; Werner et al., 2001). مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که استفاده از سیتوکنین باعث افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی مانند تنش شوری شده است (Ha et al., 2021; Taiz et al., 2015; Javid et al., 2011). شاخص بنیه بذر که نشان‌دهنده توان بذر برای ادامه رشد است، با افزایش سطح شوری به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. گزارش شده است که افزایش میزان تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار بنیه بذر در گیاهان افسنظین، بابا آدم و کاسنی شد (Qavam & Azarnivand, 2016). این یافته با نتایج تحقیق حاضر نیز همخوانی دارد. به نظر می‌رسد که پرایمینگ بذر با سیتوکنین باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، بهبود رشد گیاهچه و در نهایت بنیه بذرهای تحت شرایط تنش شوری شده است. مکانیزم‌های مختلفی می‌توانند در تأثیر مثبت سیتوکنین بر تحمل به تنش شوری نقش داشته باشند، از جمله بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانتی گیاه مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز (Ashraf & Foolad, 2007). مکانسیم دیگر، بهبود تنظیم اسمزی از طریق تقویت تجمع پرولین و گلیاسین بتائین (Iqbal et al., 2014) است. این مکانسیم سبب کم کردن پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاه شده و با تسهیل جذب آب و حفظ فشار تورگر به رشد و توسعه سلولی کمک می‌کند (Ashraf & Foolad, 2007). پرایمینگ بذر با سیتوکنین باعث تنظیم فعالیت ناقل‌های یونی در سلول‌های ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Lu & Fricke, 2023)، بنابراین به نظر می‌رسد که تنظیم تعادل یونی در هورمون پرایمینگ با سیتوکنین خصوصاً در شرایط تنش شوری که تعادل یون‌ها در محیط به سمت سمیت پیش می‌رود می‌تواند باعث بهبود بنیه بذر شود.

آستانه سمیت و آسیب سلولی هورمونی برسد. با افزایش سطح تنش شوری، به ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار، طول ساقه‌چه بطور معنی‌دار کاهش نشان داد که می‌تواند به دلیل سمیت یونی، برهم خوردن تعادل اسمزی و یا آسیب اکسیداتیو تنش شوری باشد. در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی‌مولار سیتوکنین به مدت ۲۴ ساعت همچنان باعث بهبود معنی‌دار طول ریشه‌چه در مقایسه با تیمار بدون پرایم و یا سایر سطوح پرایمینگ شد. اما در سطوح بالاتر تنش شوری (۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مولار)، اثرات مثبت پرایمینگ کاهش یافت و در برخی موارد (مانند شاهد در ۲۵۰ میلی‌مولار با طول صفر میلی‌متر) جوانه‌زنی کاملاً متوقف شد (جدول ۲). احتمالاً سیتوکنین ظرفیت محدودی برای افزایش طول ساقه‌چه در سطوح بالای تنش شوری دارد. کاربرد هورمون سیتوکنین می‌تواند اثر معنی‌دار بر طول ساقه‌چه ایجاد کند. این هورمون در تمایز سلولی به سلول‌های ساقه‌چه نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و گزارش‌ها از رشد قابل توجه ساقه‌چه (*Rhododendron Kazimierz Odnowiciel*) در تیمارهای سیتوکنین در مقایسه با تیمار فاقد این هورمون است (Nawakowska et al., 2021). تیمار پرایمینگ بذر گندم با هورمون سیتوکنین رشد بهتر ساقه‌چه گندم و بنیه قوی‌تری آن‌ها را در مقایسه با بذرهای پرایم نشده به همراه داشت (Ghoabdi et al., 2012). در مطالعه اقبال و همکاران (Eqbal et al., 2006) مشخص شد که تیمار پرایمینگ بذرهای با سیتوکنین تأثیری در بهبود جوانه‌زنی بذرهای گندم تحت شرایط تنش شوری نداشت، اما سبب رشد معنی‌دار ریشه‌چه و ساقه‌چه و بهبود بنیه بذر خصوصاً در شرایط تنش شوری گردید که با نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر مطابقت دارد.

### شاخص بنیه

نتایج مقایسه میانگین این صفت (جدول ۲) نشان داد که بیشترین شاخص بنیه در شرایط بدون شوری و با استفاده از تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر هورمون سیتوکنین و در زمان ۲۴ ساعت به دست آمد (۸۱/۶۵). در مقابل، کمترین شاخص بنیه در تیمار ترکیبی از تنش شوری ۲۵۰ میلی‌مولار و عدم پرایمینگ مشاهده شد. در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، تیمار پرایمینگ ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر هورمون سیتوکنین بیشترین شاخص بنیه را به میزان (۹۷/۳۸)

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی گیاه مریم‌گلی تحت تنش شوری و هورمون سیتوکینین

Table 2- Comparative analysis of the germination traits of sage seedlings subjected to salt stress and cytokinin treatment

تنش شوری Salinity stress	پرایمینگ (غلظت سیتوکینین* زمان) Priming (Cytokinin Concentration* Time)	درصد جوانه‌زنی نهایی (%) Final Germination Percentage	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination Rate Index	شاخص جوانه‌زنی Germination Index	طول ریشه‌چه (cm) Radicle Length	طول ساقچه (cm) Shoot Length	بنه بذر Seed Vigor
0	1	90.66a-c	9.96a-b	146.66a	12.74g-i	6.044d-g	17.02g-h
	2	82.66a-g	8.51a-e	13.33a-d	48.58b	9.34ab	47.84b
	3	92ab	10.17a	149.33a	14.92f-h	7.28b-d	20.50f-g
	4	93.33a	9.61a-c	139.33a-b	59.53a	10.98a	65.81a
	5	89.33a-d	9.42a-d	141a-b	11.95g-k	4.71e-j	14.86g-l
	6	86.66a-e	8.18a-g	124.66a-f	33.17cd	6.09e-f	33.97c-d
	7	74.66a-h	7.81a-h	119.6a-h	9.79h-m	6.26c-e	11.80h-n
	8	68a-j	5.72g-r	95.33c-o	30.76d	7.11b-d	25.65e-f
	9	73.33a-i	7.41c-j	112a-k	9.36i-n	6.26c-e	11.49h-o
	10	73.33a-i	6.92d-m	108.66a-m	25.43e	8.74ab	25.14e-f
	11	84a-g	6.84e-n	119.66a-h	7.44i-r	4.11e-m	9.70k-r
100	1	84a-g	7.76a-i	128a-e	9.06i-o	4.61e-k	11.44h-o
	2	84a-g	7.27c-j	121.66a-g	28.66de	5.65d-h	28.89d-e
	3	89.33a-d	8.65a-e	136a-c	11.92g-l	5.69d-h	15.69g-j
	4	84a-g	8.26a-f	124a-f	37.87c	8.49bc	38.97c
	5	85.33a-f	8.33a-e	132.33a-c	8.13i-q	3.78f-o	10.10j-q
	6	77.33a-h	7.59b-i	119a-i	17.03fg	4.063e-n	16.23g-i
	7	68a-j	7.05d-k	109.33a-l	6.6067l-t	2.93i-q	6.53n-u
	8	65.33a-j	5.27i-u	90d-p	18.98f	4.66e-j	15.49g-k
	9	66.66a-j	6.78e-o	105.33b-n	7.09j-s	4.68e-j	7.97m-t
	10	73.33a-i	5.75f-r	101b-n	15.94fg	4.71e-j	15.15g-k
	11	74.66a-h	5.49h-s	101.66b-n	5.52m-t	3.05i-q	6.27n-v
150	1	58.66e-l	4.41m-x	79.66h-q	6.63k-t	3.83f-o	5.95n-v
	2	81.33a-g	6.28e-q	113.66a-k	11.75g-l	4.37e-l	13.12h-m
	3	86.66a-e	7.08c-k	123.6a-f	8.60i-p	4.66e-j	11.42h-o
	4	81.33a-g	6.92d-m	114.66a-k	24.97e	5.81d-h	24.87e-f
	5	77.33a-h	6.71e-p	115.33a-k	5.03m-u	3.05i-q	6.27n-v
	6	77.33a-h	7d-l	116.66a-j	7.20j-r	3.26i-q	8.09m-t
	7	61.33c-l	5.33h-t	90d-p	5.12m-u	2.3k-r	4.55q-w
	8	42.66j-o	2.97s-a	53.33p-s	8.7i-p	3.69g-o	5.27p-w
	9	57.33e-l	4.46l-x	80.66g-q	5.06m-u	2.82j-q	4.48q-w
	10	58.66e-l	4.38n-y	78i-q	11.78g-l	3.72g-o	9.09l-s
	11	58.66e-l	3.57r-z	68m-s	3.65p-u	1.95m-r	3.33s-w
200	1	66.66a-j	4.28o-y	81g-q	3.68p-u	2.48j-q	4.07r-w
	2	60d-l	4.15q-z	75k-r	4.17n-u	2.13l-r	3.77s-w
	3	56f-m	4.22p-y	76.33j-r	7.14j-s	3.56h-p	5.89o-v
	4	62.66b-l	5.02j-v	87.33e-p	12.38g-j	5.24d-i	11.11i-p
	5	64a-k	4.68k-w	86.66f-p	4.87m-u	1.99m-r	4.41q-w
	6	50.66h-n	3.98q-z	70.3l-s	3.99o-u	2.22l-r	3.12t-w
	7	44i-o	3.22r-z	59o-s	3.20q-u	1.51o-r	2.07u-w
	8	44i-o	3.05s-a	55o-s	5.9m-t	2.81j-q	3.84r-w
	9	49.33h-n	3.70r-z	67.66m-s	4.39n-u	2.29k-r	3.28s-w
	10	41.33j-o	2.94t-aa	52.33p-t	4.81m-u	2.44j-q	3.11t-w
	11	14.66o	0.64aa	11.66t	0u	0r	0w
250	1	42.66j-o	2.60v-aa	49.33p-t	1.86s-u	1.18qr	1.28u-w
	2	48h-n	2.61v-aa	49.66p-t	2.15r-u	1.25p-r	1.68u-w
	3	26.66m-o	1.64z-aa	31.67s-t	3.48p-u	1.77m-r	1.40u-w
	4	54.66g-n	3.53r-z	67.33n-s	4.99m-u	2.76j-q	4.35q-w
	5	41.33j-o	2.85t-aa	54p-s	2.62r-u	0r	1.08u-w
	6	38.66j-o	2.77u-aa	51p-t	2.59r-u	1.69o-r	1.656u-w
	7	34.66k-o	2.08x-aa	40q-t	1.75tu	0r	0.62v-w
	8	41.33j-o	2.67v-aa	50.66p-t	4.10n-u	2.07l-r	2.55t-w
	9	33.33l-o	2.18w-aa	41q-t	1.76tu	0r	0.60v-w
	10	25.33no	1.64z-aa	32s-t	2.95q-u	1.73n-r	1.16u-w
	11	14.66o	0.64aa	11.66t	0n	0r	0w

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشترک هستند از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و بایکدبگر ندارند.

تیمارها به ترتیب شامل: ۱- هیدروپرایم به مدت ۱۲ ساعت، ۲- هیدروپرایم به مدت ۲۴ ساعت، ۳- سیتوکینین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۱۲ ساعت، ۴- سیتوکینین ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت، ۵- سیتوکینین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۱۲ ساعت، ۶- سیتوکینین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت، ۷- سیتوکینین ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۱۲ ساعت، ۸- سیتوکینین ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت، ۹- سیتوکینین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۱۲ ساعت، ۱۰- سیتوکینین ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴ ساعت، ۱۱- تیمار شاهد یا عدم پرایمینگ

The means of treatments sharing a common letter do not differ significantly from each other at the 5% probability level. The treatments, in order, include: 1- Hydropriming for 12 hours, 2- Hydropriming for 24 hours, 3- Cytokinin 50 mg/L for 12 hours, 4- Cytokinin 50 mg/L for 24 hours, 5- Cytokinin 100 mg/L for 12 hours, 6- Cytokinin 100 mg/L for 24 hours, 7- Cytokinin 150 mg/L for 12 hours, 8- Cytokinin 150 mg/L for 24 hours, 9- Cytokinin 200 mg/L for 12 hours, 10- Cytokinin 200 mg/L for 24 hours, 11- Control treatment or no priming"

## میزان فعالیت آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز

تجزیه واریانس میزان فعالیت های آنتی اکسیدانی بر روی هورمون سیتوکین (جدول ۳) نشان داد که سیتوکین و تنش شوری در سطح یک درصد بر میزان فعالیت های کاتالاز و پراکسیداز اثر

گذار بودند. همچنین اثر متقابل تنش شوری در سیتوکین بر فعالیت کاتالاز در سطح پنج درصد و بر فعالیت پراکسیداز در سطح یک درصد معنی دار بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس آنزیم های آنتی اکسیدان

Table 3- Analysis of variance for antioxidant enzymes

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Ms)	
		فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	فعالیت کاتالاز Catalase activity
سیتوکین Cytokinin	1	142.83**	106.49**
تنش شوری Salinity stress	4	12.26**	6.35**
سیتوکین × تنش شوری Salinity stress × Cytokinin	4	1.06 <sup>ns</sup>	1.22 <sup>°</sup>
خطای آزمایشی Error	20	0.67	0.33
ضریب تغییرات (درصد) (C.V%)		9.07	8.99

\*, \*\* و NS به ترتیب معنی دار در سطح پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی دار می باشند.

\*and \*\* represent significant at 1 and 5% probability, respectively.

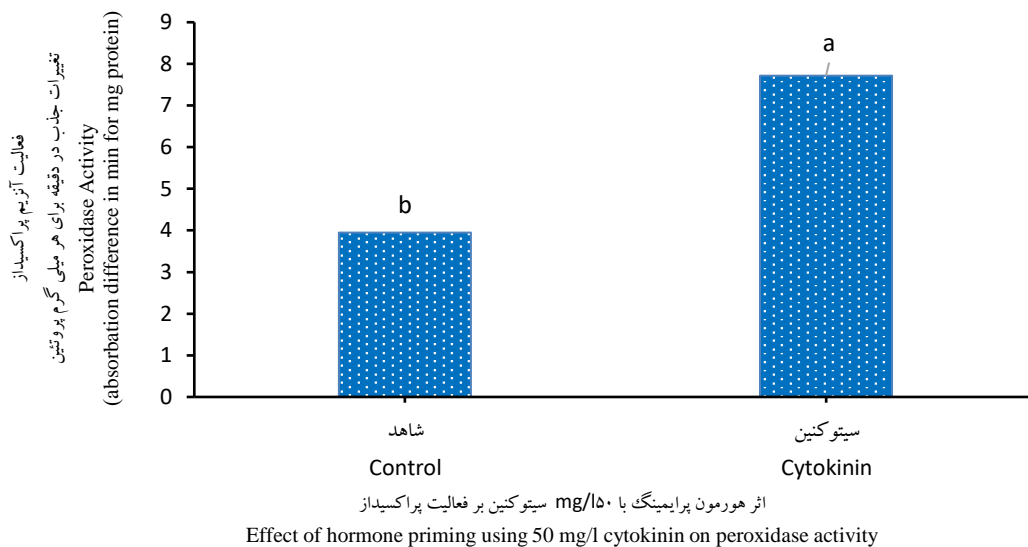
مشخص شد که در شرایط تنش شوری، به دلیل افزایش تولید آنیون های سوپراکسید، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز افزایش می یابد. کاربرد سیتوکین، تولید اکسیدان ها و عدم تعادل در آنتی اکسیدانت ها را بطور معنی داری کاهش داد و در نتیجه تحمل به تنش شوری را بهبود بخشید (Avalbaev et al., 2021). در مطالعه انجام شده مشخص شد که تیمار پرایمینگ بذرهای سیاهدانه با هورمون سیتوکین، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز بطور معنی دار افزایش داد (Savaedi et al., 2024).

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می شود، میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز در گروهی که با سیتوکین تیمار شده اند به طور قابل توجهی بالاتر از گروه شاهد است. این نشان می دهد که کاربرد سیتوکین باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه شده است. تنش شوری معمولاً سبب تولید رادیکال های واکنشگر اکسیژن می شود که سبب آسیب دیدن اجزای سلولی می شوند. سیتوکین سبب تنظیم بالادستی فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت

نتایج نشان داد که میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر مریم گلی در تیمارهای پرایمینگ هورمون سیتوکین (۷/۷۱ واحد بر میلی گرم وزن نمونه) بیشتر از بذرهای پرایم نشده (۳/۹۴ واحد بر میلی گرم وزن نمونه) است (شکل ۱). همچنین مشخص شد که با افزایش سطح تنش شوری، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بطور معنی داری افزایش یافت بطوریکه بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در سطح تنش ۱۵۰ میلی مولار شوری ایجاد شد. در مطالعه ای که به تأثیر تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت *Setaria italica* L پراخته شد مشخص گردید که میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش سطح تنش شوری افزایش یافت (Sreenivasulu et al., 1999). افزایش در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش شوری می تواند ناشی از تغییرات متابولیکی دیواره سلولی باشد. این تغییرات معمولاً به منظور تحمل و سازگاری با شرایط شوری در سلول های گیاهی ایجاد می شود (Sancho et al., 1996). نتایج بررسی انجام شده بر تأثیر کاربرد سیتوکین در کاهش آسیب های تنش شوری به بذرهای گندم

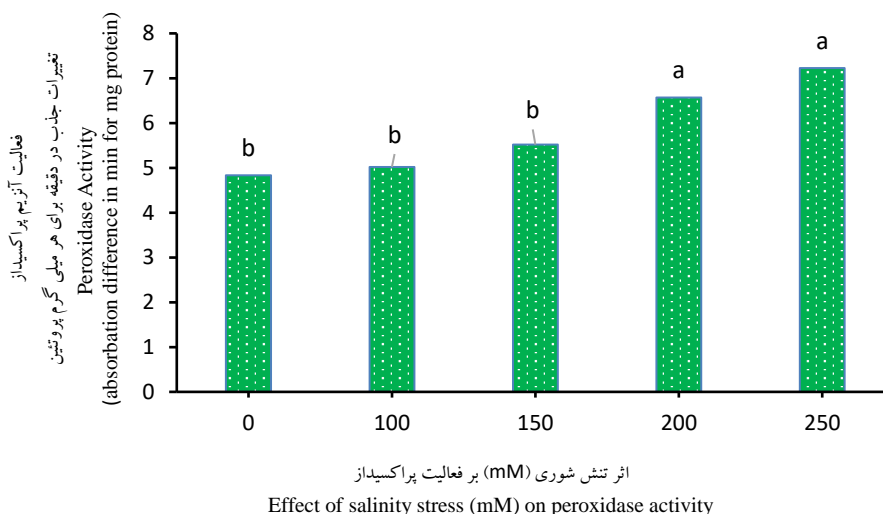
برای افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان استفاده شود. افزایش فعالیت کاتالاز می‌تواند به گیاه کمک کند تا با تنش‌های اکسیداتیو بهتر مقابله کرده و از خود محافظت کند. گزارش شده است که استفاده از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون سیتوکینین سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز در بذرهای *Agropyron elongatum* شد (Eisvan et al., 2010) که با نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهچه‌های در معرض تنش شوری می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007). این بهبود در سیستم آنتی‌اکسیداتی گیاه بطور موثری سبب خنثی شدن رادیکال‌های واکنشگر اکسیژن شده و با حفاظت از ساختارهای سلولی به حفظ فعالیت طبیعی آن‌ها کمک می‌کند (Zulfiqar et al., 2022). بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد سیتوکینین می‌تواند به عنوان یک روش



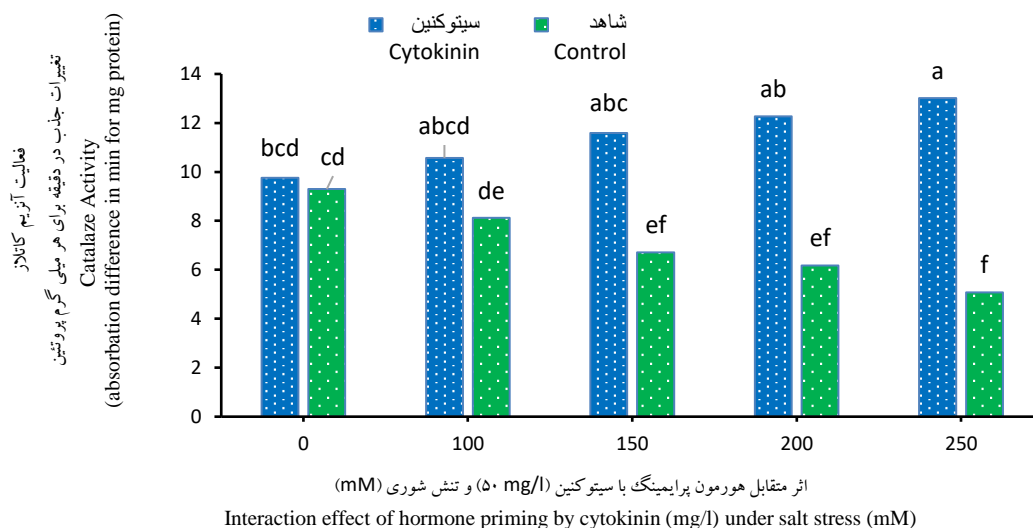
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر هورمون بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بر بذرهای پرایم شده و پرایم نشده

Figure 1- Comparison of the mean effect of hormone on peroxidase enzyme activity in primed and unprimed seeds



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بر بذرهای پرایم شده و پرایم نشده

Figure 2- Comparison of the mean effect of hormone on peroxidase enzyme activity in primed and unprimed seeds



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز بر بذرهای پرایم شده و پرایم نشده

Figure 3- Comparison of the mean effect of salt stress on catalase enzyme activity in primed and unprimed seeds

مریم گلی با هورمون سیتوکینین منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز تحت تنش شوری شد. این یافته حاکی از آن است که این هورمون با تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، به آن کمک می‌کند تا اثرات مخرب تنش شوری را کاهش دهد. به عبارت دیگر، سیتوکینین با افزایش توانایی گیاه در مقابله با رادیکال‌های آزاد و بهبود تنظیم فیزیولوژیک، به گیاه امکان می‌دهند تا در شرایط شوری رشد بهتری داشته باشد. تیمار بذر با هورمون‌های سیتوکینین، به ویژه در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و مدت زمان ۲۴ ساعت می‌تواند به عنوان یک روش موثر برای بهبود رشد اولیه و تحمل گیاه مریم گلی به تنش شوری استفاده شود.

### تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

### References

Abdollahi-Ghehi, H., Sonboli, A., Ebrahimi, S. N., Esmaili, M. A., & Mirjalili, M. H. (2019). Triterpenic acid content and cytotoxicity of some *Salvia* species from Iran. *Natural Product Communications*, 14(5), 1–10. <https://doi.org/10.1177/1934578X19842722>

تنش شوری یکی از اصلی‌ترین دلایل محدود شدن تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود و بر جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و رشد گیاه اثر گذار است. غلظت‌های بالای شوری، باعث برهم خوردن تعادل اسمزی، ایجاد سمیت یونی و تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن می‌شود که نهایتاً آسیب‌های اکسیداتیو به لپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و در ادامه مختل کردن جوانه‌زنی، کاهش سرعت و بینه بذر را به دنبال خواهد داشت (Ellouzi et al., 2024). تیمار هورمون پرایمینگ می‌تواند با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بذر و گیاهچه سبب افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی خصوصاً در شرایط تنش شوری شود (Srii et al., 2023).

### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری با افزایش غلظت، به طور معنی‌داری منجر به کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاه مریم گلی و آسیب به آن می‌شود. هورمون پرایمینگ بذر با سیتوکینین به طور معنی‌داری تأثیر مثبت خود را بر تمامی شاخص‌های جوانه‌زنی خصوصاً در شرایط تنش شوری نشان داد و سبب افزایش تحمل به تنش شوری در بذرهای مریم گلی سهندی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار بذر گیاه

- Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6), 630–633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013>
- Albrecht, T., & Argueso, C. T. (2017). Should I fight or should I grow now? The role of cytokinins in plant growth and immunity and in the growth-defense trade-off. *Annals of Botany*, 119(5), 725–735. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw211>
- Anjomani, H., Babaeian, N., & Bagheri, N. (2018). Assessment of salinity stress on traits related to seed germination in various selected soybean genotypes (*Glycine max*). *Journal of Crop Breeding*, 10(28), 181–187. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.28.181>
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Avalbaev, A., Allagulova, C., Maslennikova, D., Fedorova, K., & Shakirova, F. (2021). Methyl jasmonate and cytokinin mitigate the salinity-induced oxidative injury in wheat seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(4), 1741–1752. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10221-1>
- Azadi, F., Hatami, A., & Salek Mearaji, H. (2022). The effect of cytokinin foliar on morpho-physiological traits, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(4), 975–990. <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4181.1984>
- Azzam, C. R., Zaki, S. N. S., Bamagoos, A. A., Rady, M. M., & Alharby, H. F. (2022). Soaking maize seeds in zeatin-type cytokinin biostimulators improves salt tolerance by enhancing the antioxidant system and photosynthetic efficiency. *Plants*, 11(8), Article 1004. <https://doi.org/10.3390/plants11081004>
- Baghizadeh, A., & Yazdanpanah, A. (2021). Evaluation of sesame cultivars in germination stage under salinity stress. *Iranian Journal of Plant and Biotechnology*, 16(1), 212–222.
- Bimurzayev, N., Sari, H., Kurunc, A., Hayri Doganay, K., & Asmamaw, A. (2021). Effects of different salt sources and salinity levels on emergence and seedling growth of faba bean genotypes. *Scientific Reports*, 11, Article 18198. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97739-w>
- Biswas, S., Seal, P., Majumder, B., & Biswas, A. K. (2023). Efficacy of seed priming strategies for enhancing salinity tolerance in plants: An overview of the progress and achievements. *Plant Stress*, 9, Article 100186. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100186>
- Bybordi, A. (2010). The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 128–133. <https://doi.org/10.15835/nbha3813572>
- Camlica, M., Yaldiz, G., Ozen, F., Basol, A., & Askin, H. (2019). Effects of selenium applications on salt stress in sage and mountain tea. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 7(2), 29–35. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7isp2.29-35>
- Dehghan, A., Bonyan Ool, M., Khajeh Hosseini, M., Izady, E., & Mijani, S. (2013). Simulation of the emergence pattern of weed species in corn fields (*Zea mays* L.) based on sigmoid models. *Journal of Plant Protection*, 26(4), 457–466. <https://doi.org/10.22067/jpp.v26i4.18434>
- Ebadi, M., Farzaneh, A., Ebadi, E., & Nemati, S. (2012). Evaluation of some germination factors of *Salvia sahendica* Boiss. & Buhse under drought and salt stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4), 764–773. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i4.20387>
- Eisvand, H. R., Tavakkol-Afshari, R., Sharifzadeh, F., Maddah Arefi, H., & Hesamzadeh Hejazi, S. M. (2010). Effects of hormonal priming and drought stress on activity and isozyme profiles of antioxidant enzymes in deteriorated seed of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* Host). *Seed Science and Technology*, 38(2), 280–297. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.02>
- El-Ghamery, A. A., & Mousa, M. A. (2017). Investigation on the effect of benzyladenine on the germination, radicle growth and meristematic cells of *Nigella sativa* L. and *Allium cepa* L. *Annals of Agricultural Sciences*, 62(1), 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2016.11.002>
- Ellouzi, H., Ben Slimene Debez, I., Amraoui, S., Rabhi, M., Hanana, M., Alyami, N. M., ... & Zorrig, W. (2024). Effect of seed priming with auxin on ROS detoxification and carbohydrate metabolism and their relationship with germination and early seedling establishment in salt-stressed maize. *BMC Plant Biology*, 24(1), Article 704. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05381-8>

- Esechie, H. (1994).** Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172(3), 194–199. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1994.tb00166.x>
- Ewase, A. E. D. S. S., El-Sherif, S. O., & Tawfik, N. (2013).** Effect of salinity stress on coriander (*Coriandrum sativum*) seed germination and plant growth. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.21608/eajbsh.2013.17000>
- Farag, G., Khattab, M., & El Naggar, A. (2018).** Effect of benzyl adenine and gibberellic acid on the vegetative growth and flowering of chrysanthemum plant. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 63(1), 29–40. <https://doi.org/10.21608/alexja.2018.30051>
- Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., & Van Genuchten, M. T. (2020).** Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management*, 231, Article 106022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.106022>
- Ghobadi, M., Shafiei Abnavi, M., Jalali-Honarmand, S., Mohammadi, G. R., & Ghobadi, M. E. (2012).** Effects of seed priming with some plant growth regulators (cytokinin and salicylic acid) on germination parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(7), 163–170. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n7p163>
- Ghorbani Javid, M., Sorooshzadeh, A., Modarres Sanavy, S. A. M., Allahdadi, I., & Moradi, F. (2011).** Effects of the exogenous application of auxin and cytokinin on carbohydrate accumulation in grains of rice under salt stress. *Plant Growth Regulation*, 65(2), 305–313. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9602-1>
- Ghotbabadi, F. S., Alizadeh, A., Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M. M., & Shaabani, M. (2012).** Phytochemical composition of the essential oil, total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity in Iranian *Satureja sahendica* Bornm. at different ontogenesis conditions. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(19), 3525–3534. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.374>
- Ha, S., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2012).** Cytokinins: Metabolism and function in plant adaptation to environmental stresses. *Trends in Plant Science*, 17(3), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.12.005>
- He, H., Qin, J., Cheng, X., Xu, K., Teng, L., & Zhang, D. (2018).** Effects of exogenous 6-BA and NAA on growth and contents of medicinal ingredient of *Phellodendron chinense* seedlings. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1189–1195. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.037>
- Hedayati, A., Aghamohseni, F., Norouzi, E., Hemmaty, S., Mir Yusefzadeh, M. S., Bagheri, Z., ... & Mirjalili, M. H. (2022).** Essential oil composition and effect of different treatments on seed dormancy breaking and germination of *Salvia sahendica* Boiss. & Buhse. *Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 9(4), 59–72. <https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1936932.1645>
- Heiday, Z., Asadi-Gharneh, H. A., & Razmjoo, J. (2020).** Effect of different levels of salinity on morpho-physiological characteristics of wood sage (*Salvia nemorosa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), 983–993. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2211.1556>
- Hemeda, H. M., & Klein, B. P. (1990).** Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*, 55(1), 184–186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048.x>
- 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>
- Iqbal, M., & Ashraf, M. (2005).** Presowing seed treatment with cytokinins and its effect on growth, photosynthetic rate, ionic levels and yield of two wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47(11), 1315–1325. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00163.x>
- Iqbal, M., Ashraf, M., & Jamil, A. (2006).** Seed enhancement with cytokinin: Changes in growth and grain yield in salt-stressed wheat plants. *Plant Growth Regulation*, 50(1), 29–39. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9123-5>
- Irik, H. A., & Bikmaz, G. (2024).** Effect of different salinity on seed germination, growth parameters and biochemical contents of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed cultivars. *Scientific Reports*, 14(1), Article 6929. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57507-w>
- ISTA. (2017).** *International rules for seed testing* (Chapter 5, 2017 ed.). International Seed Testing Association.
- Jakovljević, M., Jokić, S., Molnar, M., Jašić, M., Babić, J., Jukić, H., & Banjari, I. (2019).** Bioactive profile of various *Salvia officinalis* L. preparations. *Plants*, 8(3), Article 55. <https://doi.org/10.3390/plants8030055>
- Jokar Tangkarami, M., Ghanbari, A., & Moradi, F. (2016).** Evaluation of the effect of salinity stress on the activity of some antioxidant enzymes in seedlings derived from primed seeds of milk thistle (*Silybum marianum*). *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 3(3), 11–21.

- Joshi, R., Sahoo, K. K., Tripathi, A. K., Kumar, R., Gupta, B. K., & Pareek, A. (2018). Knockdown of an inflorescence meristem-specific cytokinin oxidase-*OsCKX2* in rice reduces yield penalty under salinity stress condition. *Plant, Cell & Environment*, 41(5), 936–946. <https://doi.org/10.1111/pce.12947>
- Kadıoğlu, B. (2021). Determination of germination biology of some sage (*Salvia* spp.) species under salinity stress. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 18(2), 359–367. <https://doi.org/10.33462/jotaf.802681>
- Khrueasan, N., Siangliw, M., Toojinda, T., Imyim, A., Buaboocha, T., & Chadchawan, S. (2020). Physiological mechanisms of the seedling-stage salt tolerance of near-isogenic rice lines with the 'KDML105' genetic background. *International Journal of Agriculture and Biology*, 23(5), 927–934. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1371>
- Kiremit, M. S., Hacikamiloglu, M., Arslan, H., & Kurt, O. (2017). The effects of different irrigation water salinity levels on germination and early seedling development of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 32(3), 350–357. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.310156>
- Leal, C. C. P., Torres, S. B., Dantas, N. B. L., Aquino, G. S. M., & Alves, T. R. C. (2020). Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.) em diferentes temperaturas. *Revista Ciência Agronômica*, 51, Article e20186357. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200069>
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Fei, S., & Cheng, Q. (2020). A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10, Article 10626. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67531-w>
- Liu, Y., Zhang, M., Meng, Z., Wang, B., & Chen, M. (2020). Research progress on the roles of cytokinin in plant response to stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18), Article 6574. <https://doi.org/10.3390/ijms21186574>
- 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), Article 8070. <https://doi.org/10.3390/ijms24098070>
- 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>
- Mondal, H. K., & Kaur, H. (2017). Effect of salt stress on medicinal plants and its amelioration by plant growth-promoting microbes. *International Journal of Bio-resource & Stress Management*, 8(2), 316–326. <https://doi.org/10.23910/IJBSM/2017.8.2.1772>
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239–250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Muttaleb, Q. A., Shahmukh, A. F., & Mohsen, D. M. (2022). Efficacy of seed priming through plant hormones on the germination of bitter melon (*Momordica charantia* L.): Hormonal seed priming effects on germination. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences*, 59(3), 1–8. [https://doi.org/10.53560/PPASB\(59-3\)711](https://doi.org/10.53560/PPASB(59-3)711)
- Mwando, E., Han, Y., Angessa, T. T., Zhou, G., Hill, C. B., Zhang, X. Q., & Li, C. (2020). Genome-wide association study of salinity tolerance during germination in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00118>
- Nowakowska, K., Piñkowska, A., Siedlecka, E., & Pacholczak, A. (2021). The effect of cytokinin on shoot proliferation, biochemical changes and genetic stability of *Rhododendron* 'Kazimierz Odnowiciel' in the *in vitro* cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 147(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02206-z>
- Panahi, M., Akbari, G. A., Rostakhiz, J., & Golbaschi, M. (2012). Response of safflower genotypes to salinity stress in terms of germination and early seedling growth traits. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 1(2), 212–222.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4056–4075. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1>
- Parmoon, G., Moosavi, S. A., & Siadat, S. A. (2019). Performance of Iranian okra ecotypes under various accelerated aging conditions. *Horticultural Plant Journal*, 5(1), 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.09.001>
- Qavam, M., & Azarnivand, H. (2016). Evaluation of seed vigor index in three plants of *Artemisia absinthium* L., *Arctium lappa* L., and *Cichorium intybus* L. under salinity stress conditions. *Journal of Iranian Natural Ecosystems*, 7(3), 39–49.

- Rashidi, S. (2018). The effect of cytokinin and gibberellin hormones on germination characteristics and antioxidant enzyme activity in seeds of deteriorated maize (*Zea mays* L.) varieties. *Plant Environmental Physiology*, 13(49), 110–125.
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., & Hasanuzzaman, M. (2020). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10(1), Article 37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>
- Sancho, M. A., de Forchetti, S. M., Pliego, F., Valpuesta, V., & Quesada, M. A. (1996). Peroxidase activity and isoenzymes in the culture medium of NaCl-adapted tomato suspension cells. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 44(2), 161–167. <https://doi.org/10.1007/BF00048195>
- Savaedy, Z., Bakhshandeh, A. M., Siadat, S. A., Lotfi Jalal Abadi, A., & Moosavi, S. A. (2024). The effect of hormonal priming with cytokinin on deteriorated nigella (*Nigella sativa*) seeds. *Iranian Journal of Seed Research*, 10(2), 99–118. <https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.99>
- Schoch, C. L., Ciuffo, S., Domrachev, M., Hotton, C. L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., McVeigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J. P., Sun, L., Turner, S., & Karsch-Mizrachi, I. (2020). NCBI taxonomy: A comprehensive update on curation, resources and tools. *Database*, 2020, Article baaa062. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>
- Sepehri, A., & Rouhi, H. R. (2016). Effect of cytokinin on morphological and physiological characteristics and antioxidant enzymes activity of aged groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(2), 181–198. <https://doi.org/10.22034/ijst.2017.108248>
- Shu, K., Qi, Y., Chen, F., Meng, Y., Luo, X., Shuai, H., & Yang, W. (2017). Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 1372. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01372>
- Song, S., Liu, J., Yang, H., Zhang, W., Zhang, Q., & Gao, J. (2021). Research progress in seed development, dormancy and germination regulated by cytokinin. *Chinese Bulletin of Botany*, 56(2), 218–228. <https://doi.org/10.11983/CBB20141>
- Sour, V., Sour, P., Vorn, Y., & Sim, S. (2024). Effect of hormonal priming on seed germination and initial growth of Cambodian rice in salt stress condition. *International Journal of Applied and Advanced Multidisciplinary Research*, 2(5), 369–380. <https://doi.org/10.59890/ijaamr.v2i5.1815>
- Sreenivasulu, N., Ramanjulu, S., Ramachandra-Kini, K., Prakash, H. S., Shekar-Shetty, H., Savithri, H. S., & Sudhakar, C. (1999). Total peroxidase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance. *Plant Science*, 141(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00204-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00204-0)
- Srii, V. S., Sanam, T., & Phartyal, S. S. (2023). Influence of hormonal seed priming on seedling growth, development, and potential antioxidant performance under abiotic stress. In *Hormonal Cross-Talk, Plant Defense and Development* (pp. 273–294). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95375-7.00019-7>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- ul Sahar, N., Khatoon, N., Mangrio, A. M., Rind, N. A., & Rafiq, M. (2023). The halopriming of seeds improves the germination, growth, physiological and phytochemical attributes of tomato under saline conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35(1), 48–58. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i1.2987>
- Vedenicheva, N., Futorna, O., Shcherbatyuk, M., & Kosakivska, I. (2022). Effect of seed priming with zeatin on *Secale cereale* L. growth and cytokinin's homeostasis under hyperthermia. *Journal of Crop Improvement*, 36(5), 656–674. <https://doi.org/10.1080/15427528.2021.2000909>
- Veliyari, M., & Nourafkan, H. (2017). The effect of IAA and BAP on morpho-physiological traits of lemon balm. *Agroecology Journal*, 13(4), 23–32. <https://doi.org/10.22034/aej.2018.538786>
- Wang, Y., Mopper, S., & Hasenstein, K. H. (2001). Effects of salinity on endogenous ABA, IAA, JA, and SA in *Iris hexagona*. *Journal of Chemical Ecology*, 27(2), 327–342. <https://doi.org/10.1023/A:1005632506230>
- Werner, T., Motyka, V., Strnad, M., & Schülling, T. (2001). Regulation of plant growth by cytokinin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(18), 10487–10492. <https://doi.org/10.1073/pnas.171304098>
- Yan, Z., Wang, J., Wang, F., Xie, C., Lv, B., & Yu, Z. (2021). MPK3/6-induced degradation of ARR1/10/12 promotes salt tolerance in *Arabidopsis*. *EMBO Reports*, 22(10), Article e52457. <https://doi.org/10.15252/embr.202052457>
- Zalyhina, Y. V. (2022). Relevance of research of the pharmacological properties of *Salvia officinalis*. *Medicini Perspektivi*, 27(2), 44–51. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2022.2.260100>
- Zhang, D., He, T., Wang, X., Zhou, C., Chen, Y., Wang, X., & Chen, M. (2024). Transcription factor DIVARICATA1 positively modulates seed germination in response to salinity stress. *Plant Physiology*, 195(4), 2997–3009. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae231>
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C., & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), Article 4609. <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>
- Zhao, Y. (2010). Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual Review of Plant Biology*, 61(1), 49–64. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112308>
- Zulfiqar, F., Nafees, M., Chen, J., Darras, A., Ferrante, A., Hancock, J. T., & Siddique, K. H. (2022). Chemical priming enhances plant tolerance to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 946922. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.946922>