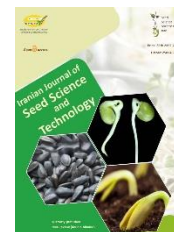




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea cv. Arman (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress Extended

Haniyeh Saadat^{1*}, Mohammad Sedghi²

1. Ph.D. Graduate in Ecology of Crop Plants, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Article Information

Received: 02 Apr. 2024

Revised: 16 May 2024

Accepted: 27 May 2024

Keywords:

Gibberellin,
Prolin,
Salicylic Acid,
Sodium Chloride,
Soluble sugars

Corresponding Author:

t.saadat.2020@gmail.com



Abstract

In order to investigate the effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea under salinity stress a factorial experiment was conducted based on completely randomized design at the University of Mohaghegh Ardabili in 2023 with 3 replications. treatments included four salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM) and four levels of priming (control, hydropriming, priming with gibberellin (50 ppm) and salicylic acid (100 ppm)). The results showed that salinity stress reduced germination percentage (GP), germination rate (GR), radicle and Seedling length (RL and SL) But, seed priming improved these traits. Salinity increased the allometric coefficient (AC), So that the highest was observed at (0.860) salinity of 100 Mm. The highest mean daily germination (MDG), plumule length (PL) and total seed protein content were observed in priming with gibberellin and control (without salinity). The maximum DGS (0.144) and MDA (0.0137 mmol/g FW) were related to the treatment with without priming and salinity of 100 mM. The amount of soluble sugars in gibberellin treatment and salinity of 100 mM compared to the control showed an increase about 56%. Also, the use of gibberellin increased amount of proline by about 40% compared to the control (without priming). In general, seed hydropriming, salicylic acid, especially gibberellin can be considered as a growth enhancer and reduce the adverse effects of salinity in chickpea plant

How to cite this paper: Saadat, H., & Sedghi, M. (2025). The effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea cv. Arman (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress Extended. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, XX (X), X-X. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.365361.1519>



© 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

Pea is one of the most important food legumes worldwide due to its multiple uses: forage dry matter, green grains, green fodder, flour, straw and green manure. It is a rich source of protein because 100 grams of pea contain 6.55 g of protein, 0.84 g of lipids and 0.92 g of mineral salts. Salinity is one of the major abiotic stresses that threaten global food security by impacting agricultural production, particularly in arid and semi-arid regions of the world. Seed priming is a technique for minimizing emergence time, ensuring consistent germination, and improving crop performance. It is a treatment at pre-sowing, leading to a physiological condition that makes it more useful for the seed to germinate.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2023 as a factorial in the form of a completely randomized design with 3 replications at University of Mohaghegh Ardabili. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride) and four levels of priming (control, hydropriming, priming with gibberellin (50 ppm) and salicylic acid (100 ppm)). For priming, the seeds were immersed in priming solutions for 12 hours. Following 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 executed in a total of three replications of 50 seeds each at a temperature of 20 °C for a duration of 8 days. Thereafter, germination indices and biochemical parameters were measured.

Results and Discussion

The results showed that salinity stress reduced germination percentage (GP), germination rate (GR), radicle and Seedling length (RL and SL) But, seed

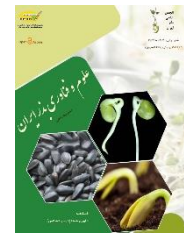
priming improved these traits. Salinity increased the allometric coefficient (AC), So that the highest was observed at (0.860) salinity of 100 Mm. The highest mean daily germination (MDG), plumule length (PL) and total seed protein content were observed in priming with gibberellin and control (without salinity). The decrease in the water potential gradient between the seeds and their surrounding environment due to disruption in the synthesis of essential enzymes for germination may explain the reduced germination under saline stress. Priming enhances the activity of enzymes that hydrolyze storage materials, enabling seedlings to readily absorb nutrients during germination. Consequently, primed seeds are able to complete the germination process in a shorter time frame. The increase in protein in gibberellin treatment could be due to the synthesis of dehydrin proteins, heat shock proteins, and antioxidant enzymes, and gibberellin probably prevents protein degradation by oxygen free radicals and increases protein levels. The maximum DGS (0.144) and MDA (0.0137 mmol/g FW) were related to the treatment with without priming and salinity of 100 mM. Radicals generated under saline conditions lead to the peroxidation of membrane lipids, consequently damaging cell membranes and resulting in increased malondialdehyde levels. The amount of soluble sugars in gibberellin treatment and salinity of 100 mM compared to the control showed an increase about 56%. Also, the use of gibberellin increased amount of proline by about 40% compared to the control (without priming). Increasing Osmolytes helps to reduce the level of reactive oxygen species in chickpea under salt stress.

Conclusions

The results of this study demonstrate that seed hydropriming, salicylic acid, especially gibberellin can be considered as a growth enhancer and reduce the adverse effects of salinity in chickpea plant



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تأثیر هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم آرمان تحت تنش شوری

هانیه سعادت^{۱*}، محمد صدقی^۲

۱. دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷

واژه‌های کلیدی:

اسید سالیسیلیک،

پرولین،

جیبرلین،

قندهای محلول،

کلرید سدیم

نویسنده مسئول:

t.saadat2020@gmail.com

به منظور بررسی تأثیر هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود تحت تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی مولار) و چهار سطح پرایمینگ (شاهد، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با جیبرلین (۵۰ پی پی ام) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ پی پی ام)) بود. نتایج نشان داد که شوری درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه و گیاهچه را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر این صفات را بهبود بخشید. شوری ضریب آلومتری را افزایش داد، به طوری بیشترین ضریب آلومتری (۰/۸۶۰) در شوری ۱۰۰ میلی مولار بود. بیشترین میانگین جوانه زنی روزانه، طول ساقه چه و محتوای کل پروتئین بذر در تیمار جیبرلین و شاهد (بدون شوری) مشاهده شد. حداکثر سرعت جوانه زنی روزانه (۰/۱۴۴) و محتوای مالون دی آلدنید (۰/۰۱۳۷ میلی مول بر گرم وزن تر) به تیمار بدون پرایمینگ و شوری ۱۰۰ میلی مولار ارتباط داشت. میزان قندهای محلول در تیمار با جیبرلین و شوری ۱۰۰ میلی مولار نسبت به شاهد در حدود ۵۶ درصد افزایش نشان داد. همچنین، کاربرد جیبرلین میزان پرولین را نیز حدود ۴۰ درصد نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ) افزایش داد. در کل، پرایمینگ بذر با هیدرو، اسید سالیسیلیک به ویژه جیبرلین به عنوان بهبوددهنده رشد و کاهش اثرات نامطلوب شوری در گیاه نخود می تواند مطرح باشد.

نحوه استناد به این مقاله:

Saadat, H., & Sedghi, M. (2025). The effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea cv. Arman (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress Extended. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, XX (X), X-X. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.365361.1519>

مقدمه

نخود یکی از مهم‌ترین گیاهان خودگشن و متعلق به تیره بقولات بوده و منبع مهم پروتئین برای میلیون‌ها نفر در کشورهای در حال توسعه است. علاوه بر این، محتوای پروتئین بالا (۲۰-۲۲٪) و غنی از کربوهیدرات، فیبر، مقادیر زیاد مواد معدنی و محتوای چربی کم است (Wallace et al. 2016).

شوری یکی از عمده‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که می‌تواند به طور قابل توجهی بر جوانه‌زنی، فیزیولوژی و بهره‌وری محصولات کشاورزی تأثیر بگذارد (Eswar et al. 2021). پیامدهای مخرب شوری بر روی گیاهان اغلب به شکل تنش اسمزی، عدم تعادل یونی، برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای، آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، ناهنجاری‌های متابولیک و کاهش تقسیم سلولی است (Hafez et al. 2021; Tahjib-Ul-Arif et al. 2018). این اثرات با هم باعث کاهش رشد گیاه، و تولید محصول می‌شود (Gharib et al. 2016). تنش اسمزی ناشی از شوری و تنش یونی باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌شود که باعث آسیب به اندامک‌های سلولی و اجزای غشاء شده و باعث مرگ سلول و گیاه در سطوح شدید شوری می‌شود (Hasanuzzaman et al. 2021). جوانه‌زنی یک مجموعه تجمعی از چندین پدیده بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مانند فعال شدن مجدد تنفس سلولی، بسیج متابولیت‌ها، سنتز mRNA و پروتئین‌ها و فعال‌سازی تقسیم سلولی است (Riyazuddin et al. 2020). تنش شوری می‌تواند جوانه‌زنی بذر را مهار کند، زمان جوانه‌زنی را به تاخیر بیندازد و درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش دهد (Malik et al. 2022). چنین اثرات منفی تنش شوری بر روی جوانه‌زنی بذر می‌تواند از طریق اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و دفاع آنتی اکسیدانتی ناشی از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن همراه با تغییرات غشای سلولی و پراکسیداسیون لیپیدی که می‌تواند به دلیل افزایش یون سدیم همراه با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن رخ دهد (Apel & Hirt. 2004). گیاهان می‌توانند با الهام بخشیدن به آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی همراه با آنتی اکسیدانت‌های غیر آنزیمی برای کاهش اثرات منفی تنش‌های غیر زنده در گونه‌های گیاهی عمل کنند و مکانیسم‌های آنتی اکسیدانتی برای مهار

گونه‌های فعال اکسیژن داشته باشند (Parida et al. 2005).

پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی بذرهای مختلف گیاهان زراعی به کاربرد پرایمینگ بذر، آن را به یک رویکرد پذیرفته شده برای مقابله با تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان تبدیل کرده است (Marthandan et al. 2020). پرایمینگ بذر شامل هیدراته کردن بذرهای برای القای جوانه‌زنی است، اما نه جوانه زدن، که در آن ریشه‌چه‌ها ظاهر شوند (Sen & Puthur. 2020). فعال کردن فرآیندهای بیوشیمیایی مانند آنتی اکسیدانت‌ها و سیستم‌های متابولیک مانند ترمیم اسید نوکلئیک و سنتز پروتئین در طول پرایمینگ بذر، دوره بین کاشت و استقرار را کاهش می‌دهد. پرایمینگ بذر فرآیندی است که گیاه را با تنش‌های محیطی آتی از طریق مواجهه قبلی با تنش‌ها سازگار می‌کند و تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها در شرایط متغیر محیطی افزایش می‌دهد (Ding et al. 2019; Sher et al. 2019). از رایج‌ترین روش‌های پرایمینگ می‌توان به، هیدرو پرایمینگ (خیساندن بذر در آب) و تنظیم‌کننده‌های رشد (جبرلین و اسید سالیسیلیک) اشاره کرد (Mondal et al. 2021). برخی از مزایای ارائه شده توسط پرایمینگ بذر عبارتند از: ۱) پرایمینگ بذر می‌تواند روند جوانه‌زنی را تسریع کند و سرعت سبز شدن گیاهچه را حتی در شرایط آب و هوایی شدید افزایش دهد، ۲) با عمل به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد در شرایط محدود، تحمل به شوری را در گیاهان بهبود بخشد. ۳) این تکنیک به طور گسترده توسط تکنسین بذر برای افزایش بنیه بذر و بهبود پتانسیل جوانه‌زنی استفاده می‌شود (Devika et al. 2021; Marthandan et al. 2020). پرایمینگ بذر احتمالاً می‌تواند به جوانه زدن بذر کمک کند تا تنش شوری را با خنثی کردن سمیت یونی یا با ارتقای مکانیسم‌های دفاعی کاهش دهد (Tlahig et al. 2021). همچنین، پرایمینگ بذر باعث ایجاد یک سری تغییرات بیوشیمیایی مانند فعال شدن آنزیم، هیدرولیز، ترمیم متابولیک و ایجاد متابولیت‌های تقویت کننده جوانه‌زنی منجر به تسریع جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه می‌شود (Hussain et al. 2016; Iqbal et al. 2020). چاراجیموی و همکاران (Charachimwe et al. 2023) گزارش کردند که پرایمینگ جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه در نخود بهبود بخشید. نتایج مشابهی توسط (2020a, 2020b, Saadat et al. 2021) که پرایمینگ با هیدرو، اسید سالیسیلیک و

ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه از خط کش مدرج بر حسب سانتی‌متر و وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه از ترازو با دقت یک هزارم استفاده شد. همچنین، برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ (Omid et al. 2014)، سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ (Ellis & Maguire, 1980)، سرعت جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۳ (Hoogenboom & Peterson, 1987) و ضریب آلومتری از رابطه ۵ (Ebrahimi et al. 2013) و درصد رطوبت گیاهچه از رابطه ۶ (Tsonev et al. 1998) استفاده شد.

$$GP = (N \times 100) / M \quad \text{رابطه ۱}$$

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M: تعداد کل بذور

$$GR = \sum_{i=1}^N Si / Di \quad \text{رابطه ۲}$$

GR: سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذرهاى جوانه زده در هر روز)

Si: تعداد بذرهاى جوانه زده در هر روز Di: تعداد روز تا شمارش
ام

$$DGS = 1 / MDG \quad \text{رابطه ۳}$$

MDG: میانگین جوانه زنی روزانه

$$MDG = PG / Tx \quad \text{رابطه ۴}$$

GP: درصد جوانه‌زنی Tx: تعداد روزهای آزمایش (طول دوره اجرای آزمایش)

$$CA = LS / LR \quad \text{رابطه ۵}$$

LS: طول ساقه‌چه، LR: طول ریشه‌چه

$$STWP = SFW - SDW / SFW \times 100 \quad \text{رابطه ۶}$$

SDW: وزن خشک گیاهچه (گرم)، SFW: وزن تر گیاهچه (گرم)

سنجش میزان پرولین

سنجش میزان پرولین براساس روش بیتس و همکاران (Bates et al. 1973) انجام گردید. در این روش ۰/۵ گرم از ریشه‌چه با ۵ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالسیلیک له گردید. پس از صاف کردن با صافی از مخلوط همگن حاصل، ۲ میلی‌لیتر

جیرلین درصد جوانه‌زنی، ضریب جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه و پروتئین تحت شرایط تنش در گیاهان مختلف افزایش و مالون دی‌آلدئید و میانگین مدت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. گزارش گردید.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر هیدرو پرایمینگ، اسیدسالیسیلیک و جیرلین در شرایط آزمایشگاهی و تحت تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود رقم آرمان جهت تعدیل اثرات مضر ناشی از تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر هیدروپرایمینگ و هورمون پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود رقم آرمان تحت تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و چهار سطح پرایمینگ (بدون پرایمینگ، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با جیرلین (۵۰ پی‌پی‌ام) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ پی‌پی‌ام)) در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بذر گواهی شده نخود رقم آرمان تولید ۱۴۰۱ بود که از موسسه وابسته به شرکت فنی و مهندسی کیمیاگر گستر تهیه شده بود. ابتدا بذرها درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند. بعد از پرایمینگ، بذرها به وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. آزمون جوانه‌زنی به روش پتری‌دیش در سه تکرار ۵۰ بذری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ روز در داخل ژرمیناتور انجام گرفت (ISTA, 2010). در این روش، از کاغذهای صافی واتمن استفاده شد. کف ظرف با استفاده از یک لایه کاغذ صافی پوشانده و ۵۰ عدد بذر روی کاغذ صافی که با آب مقطر خیس‌انده شده بود، قرار گرفت و به هر پتری‌دیش محلول شوری (کلرید سدیم برند مرک) ۲۰ میلی‌لیتر اضافه شد، پس از بستن درب، ظرف به داخل ژرمیناتور منتقل شد. در این مرحله از آزمون، شمارش بذرها یک روز پس از انتقال بذرها به محیط کشت آغاز شد و تا ثابت شدن جوانه‌زنی (۸ روز) پس از کاشت ادامه یافت. برای خشک کردن ریشه‌چه و ساقه‌چه از آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. برای اندازه‌گیری طول

C غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مولار است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب میلی‌مولار بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

$$A = \epsilon BC$$

اندازه‌گیری میزان پروتئین

برای استخراج پروتئین کل از ساقه‌چه از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. جهت تهیه معرف پروتئین برادفورد ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی برلیانت بلوجی در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به مدت زمان حداقل یک ساعت حل و پس از آن، ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۸۵٪ قطره قطره به آن اضافه شد و با آب مقطر حجم محلول به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای حذف ذرات معلق، محلول از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد. در نهایت ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد همراه با ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی مخلوط و میکسر شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. عدد حاصل براساس میلی‌گرم بر گرم وزن نمونه بذری محاسبه گردید.

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel 2018 استفاده شد.

بحث و نتایج

درصد جوانه‌زنی

طبق نتایج تجزیه واریانس تیمار پرایمینگ، شوری و اثر متقابل آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۶ درصد) در پرایمینگ با جیرلین و بدون حضور شوری و کم‌ترین مقدار آن (۶۷/۵۵ درصد) در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. البته پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ اثر قابل توجهی بر درصد جوانه‌زنی گذاشتند، اما تأثیر جیرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر ساده

برداشته شد و بعد از اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص در بن‌ماری به مدت یک ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها به حمام آب یخ منتقل و بعد از اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

سنجش قندهای محلول

میزان قندهای محلول به روش فنل سولفوریک (Kochert, 1978) و براساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنل تولید یک کمپلکس رنگی می‌کند، اندازه‌گیری شد. در این روش، ۰/۵ گرم از ریشه‌چه با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌وسیله هاون خوب ساییده گردید. پس از صاف کردن، از عصاره گیاهی حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و بعد از افزودن ۱ میلی‌لیتر فنل (۵٪ وزنی - حجمی) و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪، لوله‌ها به مدت ۱ ساعت به حال خود رها شدند تا رنگ ظاهر و تثبیت شود. پس از ظهور رنگ، میزان جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و با استفاد از منحنی استاندارد قند گلوکز، میزان قند در ریشه‌چه تحت تیمار بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید

سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید براساس روش مک کوئی و شتی (McCue & Shetty, 2002) انجام شد. در این روش، ۲۰۰ میلی‌لیتر از بافت هموزن با ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش مخلوط شد. سپس، ۵۰۰ میلی‌لیتر از تری‌کلرواستیک اسید ۲۰ درصد با ۱ میلی‌لیتر از تیوباربتوریک اسید ۱۰ میلی‌مولار مخلوط شد. لوله‌های آزمایش به انکوباتور ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت زمان ۳۰ دقیقه منتقل شدند. سپس، به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و مقدار جذب روشن‌آور در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدئید از ضریب خاموشی معادل $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ و معادله زیر استفاده شد، که در آن A جذب خوانده شد، ϵ ضریب خاموشی، B عرض کووت و

پرایمینگ نیز در سرعت جوانه‌زنی موثر بود (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار این صفت (۲۵/۹۴۸ بذر در روز) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵).

پرایمینگ و تنش شوری بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی اثرات متقابل آن‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۳۶/۹۲۵ بذر در روز) در پرایمینگ با جیبرلین مشاهده شد (جدول ۴). البته سطوح اسید سالیسیلیک و هیدرو

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و شوری روی صفات فیزیولوژیکی در گیاهچه نخود

Table 1- Analysis of variance for the effect of priming and Salinity on physiological traits in Pea Seedling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D.F.	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Speed	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean Daily Germination	ضریب آلومتری Allometry Coefficient	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Pedicel length	طول گیاهچه Seedling Length
پرایمینگ Priming (P)	3	1869.805**	226.277**	0.00382522**	29.216**	0.1690**	23.666**	12.519**	67.138**
شوری Salinity (S)	3	622.583**	284.041**	0.00164634**	9.728**	0.0011 ^{ns}	7.378**	5.628**	25.714**
اثر متقابل پرایمینگ و شوری P×S	9	66.305**	1.131 ^{ns}	0.00021187*	1.036**	0.0153 ^{ns}	0.076 ^{ns}	0.195*	0.592 ^{ns}
خطا Error (E)	30	20.965	3.847	0.00007300	0.328	0.0267	0.124	0.083	0.308
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.149	6.237	7.683	6.149	19.280	8.586	8.492	7.405

^{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.

شوری بود (جدول ۳).

میانگین جوانه‌زنی روزانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ای این صفت نشان داد که تاثیر پرایمینگ، شوری و اثرات متقابل آن‌ها بر میانگین جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۲) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون شوری به‌دست آمد. هر چند اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز روی آن تاثیر گذاشت اما اثر جیبرلین بیشتر بود (جدول ۳). و کم‌ترین مقدار این صفت (۶/۹۵۸) در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی روزانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و شوری در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل این دو عامل مورد مطالعه بر سرعت جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۴۴) در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). کاربرد جیبرلین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ توانست سرعت جوانه‌زنی روزانه را کاهش دهد. اما تاثیر جیبرلین بیش‌تر از اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بود به طوری که کمترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۸۳۰) مربوط به پرایمینگ با جیبرلین و بدون

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و شوری روی صفات بیوشیمیایی در گیاهچه نخود

Tabel 2- Analysis of variance for the effect of priming and Salinity on studied traits in Pea Seedling

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد رطوبت گیاهچه	پروتئین	پروлін	قندهای محلول	مالون دی آلدئید
S.O.V	D.F.	Seedling Moisture Percentage	Protein	Proline	Soluble Sugars	Malondialdehyde
پرایمینگ						
Priming (P)	3	63.685**	31.473**	6.313**	146.803**	0.00221324**
شوری						
Salinity (S)	3	2339.463**	10.679**	9.534**	7.074**	0.01178958**
اثر متقابل پرایمینگ و شوری						
P×S	9	199.020**	0.837**	0.073 ^{ns}	0.131**	0.00056445**
خطا						
Error (E)	30	9.406	0.261	0.185	0.042	0.00018295
ضریب تغییرات (درصد)						
CV (%)		3.498	4.238	12.560	1.653	26.063

ns و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و شوری روی صفات فیزیولوژیکی در نخود

Tabel 3- Mean Comparison on interaction effect of salinity and priming for physiological traits in Pea

تیمار	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی روزانه	میانگین جوانه زنی روزانه	طول ساقچه (سانتی متر)	درصد رطوبت گیاهچه (درصد)
Treatment	Germination Percentage (%)	Daily Germination Speed	Mean Daily Germination	Pedicle length (cm)	Seedling Moisture Percentage (%)
شاهد و بدون شوری	73.000 ^{efg}	0.119 ^{cd}	8.375 ^{efg}	2.707 ^{fg}	95.431 ^{bc}
P1s1					
شاهد و شوری ۵۰ میلی مولار	63.333 ^{fgh}	0.126 ^{cd}	7.917 ^{fgh}	2.437 ^{gh}	95.952 ^{bc}
P1s2					
شاهد و شوری ۷۵ میلی مولار	58.667 ^{gh}	0.136 ^{ab}	7.333 ^{gh}	2.067 ^{hi}	98.579 ^a
P1s3					
شاهد و شوری ۱۰۰ میلی مولار	55.667 ^h	0.144 ^a	6.958 ^h	1.633 ⁱ	59.893 ^e
P1s4					
هیدروپرایمینگ بدون شوری	74.333 ^{de}	0.108 ^{de}	9.292 ^{de}	3.670 ^{de}	91.348 ^{bcd}
P2s1					
هیدروپرایمینگ ۵۰ میلی مولار	71.000 ^{ef}	0.113 ^{cd}	8.875 ^{ef}	3.313 ^e	96.312 ^b
P2s2					
هیدروپرایمینگ ۷۵ میلی مولار	66.667 ^{efg}	0.121 ^{cd}	8.333 ^{efg}	2.730 ^{fg}	98.782 ^a
P2s3					
هیدروپرایمینگ ۱۰۰ میلی مولار	63.333 ^{fgh}	0.127 ^{bc}	7.917 ^{fgh}	2.033 ^{hi}	62.559 ^e
P2s4					
اسید سالیسیلیک و بدون شوری	92.333 ^{ab}	0.088 ^g	11.542 ^{ab}	4.446 ^c	90.373 ^{cd}
P3s1					
اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی مولار	83.333 ^c	0.096 ^{efg}	10.417 ^c	4.097 ^{cd}	90.438 ^{cd}
P3s2					
اسید سالیسیلیک ۷۵ میلی مولار	75.667 ^d	0.107 ^{def}	9.458 ^d	3.673 ^{de}	95.654 ^{bc}
P3s3					
اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی مولار	59.000 ^{gh}	0.140 ^a	7.375 ^{gh}	3.200 ^{ef}	60.600 ^e
P3s4					
جیبرلین و بدون شوری	96.000 ^a	0.084 ^g	12.000 ^a	5.620 ^a	89.285 ^d
P4s1					
جیبرلین ۵۰ میلی مولار	92.667 ^{ab}	0.086 ^g	11.583 ^{ab}	5.133 ^b	89.526 ^d
P4s2					
جیبرلین ۷۵ میلی مولار	87.667 ^{bc}	0.0913 ^{fg}	10.958 ^{bc}	4.033 ^{cd}	91.035 ^{bcd}
P4s3					
جیبرلین ۱۰۰ میلی مولار	84.667 ^{bc}	0.095 ^{efg}	10.5833 ^{cd}	3.3667 ^e	85.917 ^d
P4s4					

Priming (P): پرایمینگ، Salinity (S): شوری

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد است.

The different letters in each column indicate significant difference at 5% probability level.

ضریب آلومتري

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که تنها اثر ساده پرایمینگ بر ضریب آلومتري در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد و اثر ساده شوری و اثرات متقابل پرایمینگ و شوری غیر معنی دار بود (جدول ۱). طبق نتایج مقایسات میانگین بیشترین ضریب آلومتري (۰/۹۳۷) در شاهد و کمترین مقدار این صفت (۰/۷۲۱) در هیدرو پرایمینگ بود (جدول ۴). هرچند اسید سالیسیلیک و جیبرلین نیز در ضریب آلومتري تاثیر داشت. بین سطوح شوری در این صفت تفاوت معنی دار مشاهده نشد (جدول ۵).

طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه

طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ و تنش شوری بر طول ریشه چه، ساقه چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها تنها بر طول ساقه چه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین طول ریشه چه و گیاهچه به ترتیب ۶ و ۱۰/۴۰۸ سانتی متر در پرایمینگ با جیبرلین و کمترین طول ریشه چه (۲/۴۸۸ سانتی متر) و طول گیاهچه (۴/۶۹۹ سانتی متر) در شاهد بود (جدول ۴). با تشدید شوری طول ریشه چه و گیاهچه کاهش یافت

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر پرایمینگ روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در نخود

Tabel 4- Mean Comparison for the effect of Priming on physiological and biochemical traits in Pea

پرایمینگ Priming	سرعت جوانه زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed-1day)	ضریب آلومتري Allometry Coefficient	طول ریشه چه (سانتی متر) Radicle length (cm)	طول گیاهچه (سانتی متر) Seedling Length (cm)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) (μMg·FW) ¹
شاهد Control	26.792 ^d	0.937 ^a	2.488 ^c	4.699 ^d	2.368 ^c
هیدرو پرایمینگ Hydropriming	29.525 ^c	0.722 ^b	4.020 ^b	6.957 ^c	3.533 ^b
اسید سالیسیلیک Salicylic acid	32.540 ^b	0.960 ^a	4.078 ^b	7.932 ^b	3.876 ^{ab}
جیبرلین Gibberellin	36.925 ^a	0.772 ^b	6.001 ^a	10.408 ^a	3.919 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد است.

The different letters in each column indicate a significant differences at 1% probability level.

پروتئین

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ، تنش

شوری و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین

قندهای محلول

پرایمینگ و تنش شوری و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای قندهای محلول را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). طبق نتایج مقایسات میانگین بیش‌ترین میزان قندهای محلول (۱۷/۶۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با جیبرلین و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کمترین آن (۷/۸۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد و بدون حضوری شوری مشاهده شد (شکل ۱ (B)). البته سطوح اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز در میزان قندهای محلول موثر بود (شکل ۱ (B)).

مالون دی‌آلدئید

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ، شوری و اثرات متقابل این دو عامل مورد مطالعه بر مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین محتوای مالون دی‌آلدئید (۰/۱۳۶۷ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در شاهد با شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کمترین مقدار آن (۰/۰۱۳۶ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با جیبرلین و بدن حضور شوری به‌دست آمد (شکل ۱ (C)). هیدرو پرایمینگ و اسید سالیسیلیک مالون دی‌آلدئید را کاهش دادند ولی تأثیر پرایمینگ با جیبرلین روی این صفت بیشتر بود (شکل ۱ (C)).

بیش‌ترین محتوای پروتئین (۵/۴۷۳ میلی‌گرم در گرم) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون شوری و کمترین محتوای پروتئین (۱/۶۳۳ میلی‌گرم در گرم) در شاهد با شوری ۱۰۰ میلی‌مولار حاصل شد (شکل ۱ (A)). پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز اثر مثبتی بر محتوای پروتئین داشت، به‌طوری‌که بعد از جیبرلین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بیش‌ترین محتوای پروتئین را نشان دادند (شکل ۱ (A)).

پروکلین

طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ و تنش شوری بر مقدار پروکلین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثرات متقابل پرایمینگ و تنش شوری بر این صفت غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین مقدار پروکلین (۳/۹۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با جیبرلین بود. پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز اثر مثبتی بر پروکلین داشتند (جدول ۴)، به‌طوری‌که بعد از جیبرلین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بیش‌ترین مقدار پروکلین را نشان دادند (جدول ۴). طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که با افزایش سطوح شوری به مقدار پروکلین افزوده می‌شود. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار آن (۴/۴۶۴ میکرومول بر گرم وزن تر) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر شوری روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در نخود

Tabel 5-. Mean Comparison for the effect of Salinity on physiological and biochemical traits in Pea

شوری (میلی‌مولار) Salinity (Mm)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed-1day)	ضریب آلومتری Allometry Coefficient	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling Length (cm)	پروکلین (میکرومول بر گرم وزن تر) (μMg-FW) ¹
0	37.058 ^a	0.837 ^a	4.964 ^a	9.075 ^a	2.417 ^d
50	33.542 ^b	0.847 ^a	4.477 ^b	8.222 ^b	3.028 ^c
75	29.233 ^c	0.8487 ^a	3.796 ^c	6.974 ^c	3.787 ^b
100	25.943 ^d	0.8607 ^a	3.167 ^d	5.725 ^d	4.464 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

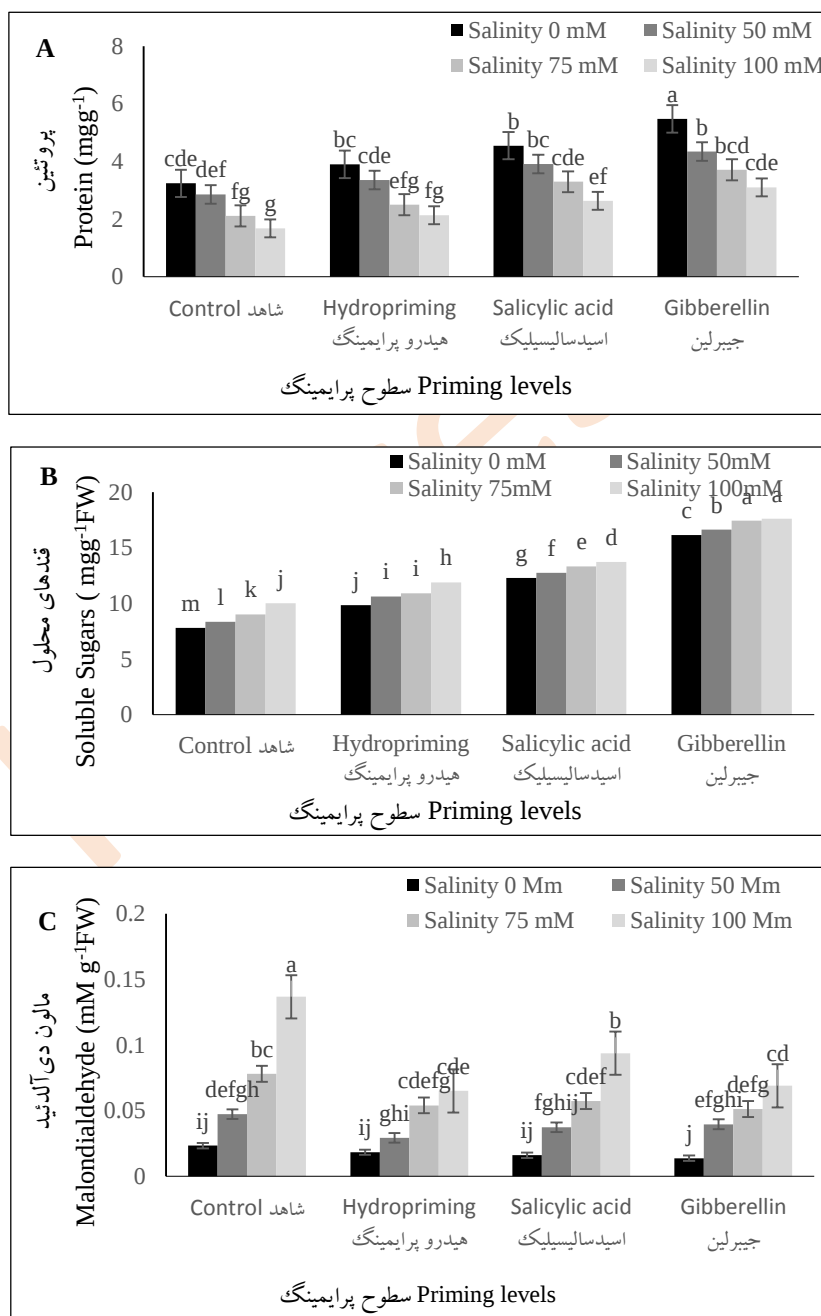
The different letters in each column indicate a significant difference at 1% probability level.

سلولی برنامه‌ریزی شده در معرض خطر قرار می‌دهد (Gill et al. 2010). افزایش یون‌های سدیم در داخل بذرها می‌تواند باعث ایجاد سمیت یونی شود و یکپارچگی غشای سلولی

در شرایط شوری، تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن سلول‌های گیاهی را با القای پراکسیداسیون لیپیدی، اکسیداسیون پروتئین، آسیب اسید نوکلئیک، مهار آنزیم و شروع فرآیند مرگ

(Hasanuzzaman et al. 2022). تعادل غیرمعمول یون‌های مختلف می‌تواند فعالیت‌های متابولیکی آنزیم‌ها را به حداقل برساند و منجر به جوانه‌زنی کم بذره‌های کاشته شده در شرایط تنش شوری شود (Mbarki et al. 2018).

را به دلیل دنا توره شدن پروتئین‌های غشاء و پراکسیداسیون فسفولیپیدها از بین ببرد (Chen et al. 2020). متعاقباً، هموستاز یونی، جذب مواد مغذی ضروری، مکانیسم حمل و نقل فعال و تنظیم اسمزی را بسته به شدت تنش شوری محدود می‌کند



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و شوری روی پروتئین (A)، قندهای محلول (B) و مالون دی آلدئید (C) در نخود. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 1- Mean Comparison for the interaction effect of Priming and Salinity on Protein (A), Soluble Sugars (B), Malondialdehyde (C) in Pea. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

دسترسی راحت‌تر به مواد مغذی در مرحله جوانه‌زنی می‌تواند سرعت جوانه‌زنی را افزایش دهد. بذرها تیمار شده سریع‌تر جوانه‌زده و تحمل بیشتری به تنش دارند (Bahrasemani et al. 2024). در این تحقیق، فعال شدن آنزیم‌ها، ساخت محرک‌های رشد، بازسازی آسیب سلولی به بذرها در طول پرایمینگ سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Digirolamo et al. 2021). در واقع افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذور پرایم شده می‌تواند به دلیل افزایش سرعت جذب آب ترمیم و آماده‌سازی ساختار و آنزیم‌های بذر و تضعیف پوسته بذری مربوط باشد (Johnson & Saadat & Sedghi. 2021; Mondal & Bose. 2021). افزایش سرعت جوانه‌زنی در پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین روی لویا و برنج نیز گزارش شده است (Saadat & Sedghi. 2020b; Saadat et al. 2021). کاهش سرعت جوانه‌زنی تحت تنش شوری نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023a; Saadat et al. 2023b). در این تحقیق، سرعت جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک به‌ویژه جیبرلین کاهش یافت. از آنجایی که، این صفت عکس میانگین جوانه‌زنی روزانه است، در نتیجه افزایش در میانگین جوانه‌زنی روزانه در طول هورمون پرایمینگ و هیدرو پرایمینگ موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه شد. (Saadat et al. 2023c) مشاهده کردند که سرعت جوانه‌زنی روزانه تحت تنش شوری افزایش یافت. کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه در پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین نیز گزارش شده است (Saadat & Sedghi. 2021). در این تحقیق، پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین میانگین جوانه‌زنی روزانه را افزایش داد. میانگین جوانه‌زنی روزانه از نسبت درصد جوانه‌زنی به طول دوره اجرای آزمایش به‌دست می‌آید، بنابراین، افزایش درصد جوانه‌زنی در طی پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین موجب افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه خواهد شد. کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی طی تنش شوری می‌تواند به دلیل بروز اختلالات رشدی و کوچک شدن غیرطبیعی سلولی در مرحله جوانه‌زنی باشد (Ghanbari et al. 2019) و همچنین به دلیل تکمیل تمام فرآیندهای متابولیکی قبل از جوانه‌زنی ناشی از پرایمینگ باشد (Sadeghi et al. 2011). بهبود در جوانه‌زنی

در مطالعه حاضر، بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و به دنبال آن ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم به طور معنی‌داری بر اکثر صفات مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر گذاشت. کاهش درصد جوانه‌زنی در نخود تحت شوری می‌تواند مربوط به تأثیر تنش بر نفوذپذیری غشا، افزایش تنفس بذر و کاهش انرژی اولیه مورد نیاز بذر برای جوانه‌زنی باشد (Nazari et al. 2020). پاسخ مثبت به جوانه‌زنی بذر نخود طی پرایمینگ ممکن است به دلیل نقش آن در تأثیرگذاری بر نفوذپذیری غشاها باشد که در نهایت منجر به فعال شدن آنزیم‌های دخیل در سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات می‌شود (Devasirvatham et al. 2012). شوری با کاهش فعالیت‌های متابولیکی لازم، سرعت جوانه‌زنی را کاهش داده و روند جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (Debez et al. 2020). دلایل مختلفی برای تأخیر و سرکوب جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش شوری وجود دارد. اولاً، شوری پتانسیل اسمزی محیط خارجی را کاهش می‌دهد و ظرفیت بذرها را برای جذب آب محدود می‌کند و در نتیجه رشد سلولی را مهار می‌کند (Migahid et al. 2019). ثانیاً، تنش شوری ممکن است با مکانیسم‌های مختلف، مانند اختلال در ساختار پروتئین، کارایی تحرک ذخایر بذر را در طول جوانه‌زنی کاهش دهد (Ibrahim et al. 2016). به عبارت دیگر، کاهش جوانه‌زنی طی تنش شوری، ممکن است به علت کاهش پتانسیل اسمزی باشد که منجر به کاهش جذب آب توسط بذر می‌شود (Ma et al. 2020; Seleiman et al. 2018). همچنین، سمیت یونی حاصل از تنش شوری می‌تواند از طریق فعالیت آنزیمی مانند تنفس، هیدرولیز مواد مغذی و تولید انرژی بر فرآیندهای متابولیکی تأثیر نامطلوب بگذارد (Naseer et al. 2022; Mwando et al. 2020). کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری در این تحقیق می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فرآیند جوانه‌زنی که در اثر تخریب ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها رخ می‌دهد باشد (Fabian et al. 2008). با کاهش جذب آب طی تنش فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به تأخیر افتاده و در نهایت مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر زیاد شده و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Armand et al. 2015). پرایمینگ بذر، از طریق فعال کردن برخی آنزیم‌ها در بذر و

کاهش ترشح هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه از جمله طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Batool et al. 2010; Masoumi et al. 2014). همچنین رابطه بین پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش نشت محلول‌های الکترولیت به دلیل تخریب ساختار غشای سیتوپلاسمی باعث کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Zamani et al. 2010). کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تنش ممکن است به دلیل کاهش تقسیم سلولی و افزایش طول، تنفس کم باشد (Tao et al. 2018). افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در پرایمینگ با جبرلین، اسیدسالیسیلیک و آب مقطر می‌تواند به دلیل شروع یک فرآیند متابولیکی در جنین توسط پرایمینگ باشد که قبل از ظهور گیاهچه اتفاق می‌افتد و بذرها را برای ظهور ریشه‌چه آماده می‌کند (Farooq et al. 2007; Wahid et al. 2008). علاوه بر این، پرایمینگ بذر موانع فیزیکی آندوسپرم را در طول جذب کاهش می‌دهد، آسیب غشایی را ترمیم می‌کند، رشد جنین‌های نابالغ را بهبود می‌بخشد، و بازدارنده‌های جوانه‌زنی را شسته می‌کند تا رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را افزایش دهد (Bewley et al. 2011; Kibinza et al. 2013). افزایش طول گیاهچه ناشی از انگیزه تقسیم و بزرگ شدن سلول است (Golizadeh et al. 2015). معصومی و همکاران (Masoumi et al. 2010) دریافتند که پرایمینگ با افزایش میزان استفاده از مواد ذخیره سازی بذر طول ریشه‌چه ساقچه را افزایش می‌دهد. کاهش طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه طی سطوح شوری مطابق با نتایج محققان قبلی روی گیاهان مختلف است (Saadat et al. 2023a; 2023c). پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جبرلین طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه در لویا و برنج بهبود می‌بخشد (Saadat & Sedghi. 2021; Saadat et al. 2020a; 2020b). پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک تحت تنش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در گیاه نخود افزایش داد (Tamindži et al. 2023). تنش شوری به دلیل اختلال در غشای پلاسمایی و تأثیر مضر بر نفوذپذیری انتخابی، کم آبی سیتوپلاسم و پایداری غشاء موجب کاهش درصد رطوبت گیاهچه می‌شود (Rashwan et al. 2020). در نتیجه، این باعث افزایش سیگنال‌های استرس اکسیداتیو مانند غلظت پرولین، مالون دی‌آلدئید و سطح سوپراکسید در گیاه نخود تحت تنش

ممکن است ناشی از حفظ حمل و نقل مواد غذایی ذخیره شده، محرک، و سنتز مجدد آنزیم‌ها، و بیوسنتز DNA و RNA در طول پرایمینگ باشد (Mohamed et al. 2019). (Saadat et al. 2023c). تنش شوری مشاهده کردند که میانگین جوانه‌زنی روزانه تحت تنش شوری افزایش یافت. افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه در پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جبرلین نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2021). از آنجایی که ضریب آلومتری از تقسیم طول ساقه‌چه به ریشه‌چه حاصل می‌شود، کاهش آن طی تنش شوری نشان دهنده کاهش طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه است و پرایمینگ با آب مقطر، با اسیدسالیسیلیک، به ویژه جبرلین آن را بهبود بخشید در این پژوهش، شوری ضریب آلومتری را کاهش داد هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار نبود و این امر بیانگر کاهش جذب آب به وسیله 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 تأثیر می‌گذارد (Panahi et al. 2012). همچنین، شوری انتقال مواد غذایی از لپه به محور جنینی را محدود کرده و از طریق کاهش سرعت رشد محور جنین از رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه جلوگیری می‌کند و منجر به کاهش میزان ضریب آلومتری می‌شود (Soltani et al. 2006). پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جبرلین روی ضریب آلومتری تأثیر می‌گذارد (Saadat et al. 2021). محققان نشان دادند پرایمینگ طول ریشه‌چه و ساقه‌چه افزایش می‌دهد که به دنبال آن ضریب آلومتری نیز افزایش می‌یابد (Saadat et al. 2023e). افزایش این صفت بیانگر مقاومت گیاه نخود به تنش است (Luo et al. 2020). پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جبرلین کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت تنش شوری را به طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با گیاهچه‌های حاصل از بذرها پرایم نشده تحت تنش شوری بهبود داد و پرایمینگ با جبرلین بیش‌ترین تأثیر 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 جذب آب توسط بذرها در شرایط تنش باعث

می‌دهند (AAI-Ashkar et al. 2019). این فرآیندها نقش حیاتی در محافظت از سلول‌های گیاهی از آسیب اکسیداتیو که در غشای سلولی و در تعادل یونی و وضعیت آب رخ می‌دهد، ایفا می‌کنند (Gill et al. 2010; Coskun et al. 2016). پرولین یک املاح سازگار شناخته شده است که در گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری تجمع می‌یابد (Tarabih et al. 2020) و این افزایش نقش مهمی در غلبه بر اثر نامطلوب تنش شوری و بهبود رشد گیاه دارند (Nathalie et al. 2008). این صفت عنصر اصلی سیستم دفاع گیاه است که اثرات منفی گونه‌های فعال اکسیژن را سم‌زدایی می‌کند (Mansoor et al. 2022). پرولین نقش حیاتی در تنظیم اسمزی (Ghassemi-Golezani & Abdoli. 2022; Ozturk et al. 2021)، حفاظت از ساختار زیر سلولی، فعالیت‌های آنزیمی ایفا کرده و می‌تواند فشار تورگور سلولی را که مسئول گسترش سلول در شرایط شوری است، افزایش دهد (Zulfiqar et al. 2020). کاربرد آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین در این مطالعه اثر نامطلوب شوری بر رشد گیاه نخود را کاهش داده و تجمع پرولین را افزایش داد. این ممکن است به دلیل تعادل یونی (Roshdy et al. 2020) در نتیجه پایداری غشای پلاسمایی سلول‌ها در یکپارچگی و همبستگی مثبت بین عناصر سدیم و سایر مواد مغذی (Guo et al. 2019) باشد. همچنین، افزایش پرولین طی پرایمینگ می‌تواند ناشی از عوامل متعددی مانند کاهش سنتز پروتئین، افزایش بیوسنتز پرولین از گلوتامات یا اورنیتین، کاهش تخریب یا کاتابولیسم پرولین و افزایش هیدرولیز پروتئین باشد (Tarabih et al. 2020; Gotz et al. 2018). پرولین می‌تواند نقش‌های متعددی را در تحمل تنش گیاه مانند تثبیت غشاها و پروتئین‌ها، حذف گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ تعادل ردوکس سلولی، تنظیم پتانسیل اسمزی، و عمل به عنوان یک مولکول سیگنالینگ ایفا کند (Ghosh et al. 2019; Shafi et al. 2022). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که میزان پرولین تحت تنش شوری در گیاه نخود افزایش یافت (Azadbakht et al. 2020; Noreen et al. 2024). افزایش پرولین طی تنش شوری روی لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023d). در مطالعه ما، گیاه نخود تحت تنش شوری سطوح بالاتر مالون دی‌آلدئید را نشان داد. این افزایش نشانه آسیب غشاء در

می‌شود. کاهش درصد رطوبت گیاهچه در نتیجه کاهش دسترسی به آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک است (Mansouri Gandomani et al. 2019). کاهش درصد رطوبت گیاهچه، به عنوان یک شاخص مناسب برای حساسیت به تنش شوری، می‌تواند با رشد کندتر ریشه‌چه مرتبط باشد و بر متابولیسم گیاه تأثیر بگذارد (Wassie et al. 2019). اقبال و همکاران (Iqbal et al. 2020) بیان کرد که کاهش درصد رطوبت گیاهچه به دلیل تنش ممکن است نتیجه متابولیت‌های پایین‌تر و غلظت اسمزی در بافت برای نگهداری آب باشد. کاهش درصد رطوبت گیاهچه تحت شرایط تنش شوری در لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023b). از طرف دیگر، پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین باعث افزایش درصد رطوبت گیاهچه در نخود در شرایط تنش شوری شد که ممکن است به دلیل افزایش تحمل گیاه به تنش با اصلاح سیستم فعالیت آنتی‌اکسیدانتی باشد (Iqbal et al. 2020). افزایش درصد رطوبت گیاهچه در سطوح بالای تنش شوری می‌تواند به این علت باشد که گیاه جهت سنتز محلول‌های سازگار در شرایط تنش شوری، بخشی از منابع کربوهیدراتی خود را جهت ساختن این محلول‌ها مصرف می‌کند و در نتیجه با ایجاد پتانسیل اسمزی درون سلولی منفی و افزایش جذب آب و رقیق سازی نمک‌های موجود در گیاه، نوعی سازگاری در شرایط تنش شوری برقرار می‌کند، هرچند که این کار برای گیاه پرهزینه محسوب می‌شود (Khan et al. 2002). پرایمینگ از طریق افزایش قابلیت دسترسی به ATP، افزایش میزان یکپارچگی غشای سلولی، تغییر برخی از اجزای غشاء مانند اسیدهای چرب و جلوگیری از نشت مواد به خارج از بذر در طول پرایمینگ بذر و در نتیجه افزایش توان رشدی گیاهچه موجب افزایش درصد رطوبت گیاهچه می‌گردد (Mazor et al. 1984). تحقیق‌ها نشان داده است تنش شوری درصد رطوبت گیاهچه را در گیاه نخود کاهش می‌دهد (Noreen et al. 2024; Arafa et al. 2021). همچنین، پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک درصد رطوبت گیاهچه نخود را در شرایط تنش افزایش می‌دهد (Tamindzi et al. 2023). گیاهان از طریق تولید غیر آنزیمی، آسیب اکسیداتیو را که در شرایط شور رخ می‌دهد کاهش

(Saadat et al. 2020a) نیز گزارش شده است. همچنین، گزارش‌ها، افزایش قابل توجهی در مالون دی آلدئید تحت تنش شوری در گیاه نخود را نشان داده است (Noreen et al. 2024). محتوای پروتئین یک پارامتر فیزیولوژیکی مهم است که برای درک رشد، نمو و متابولیسم گیاه ارزیابی می‌شود. اندازه‌گیری محتوای پروتئین می‌تواند اطلاعاتی در مورد سنتز پروتئین، تجزیه و فرآیندهای متابولیک ارائه دهد. شوری با تولید مشتقات گونه‌های فعال اکسیژن، موجب پراکسیداسیون لیپیدهای میتوکندری، از دست دادن یکپارچگی غشاء، جهش DNA، تخریب پروتئین‌ها و غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌شود (El Mahi et al. 2022; Mansoor et al. 2019). تنش شوری جوانه‌زنی بذر را در نتیجه جذب آب محدود، کاهش داده، تجزیه مواد ذخیره‌سازی بذر را کند کرده و تولید پروتئین‌های ذخیره‌سازی را مهار می‌کند (Ashraf et al. 2005; Eslami et al. 2009). طبق نتایج این آزمایش، پرایمینگ بذر با هر سه تیمار هیدرو (آب مقطر)، اسیدسالیسیلیک مخصوصا جیبرلین منجر به افزایش محتوای پروتئینی شد. به‌طور مشابه، مطالعه‌ای که روی بذرهای لوبیا پرایم شده انجام شد، کاهش محتوای پروتئین با افزایش تنش شوری نشان داد (Saadat et al. 2023b). افزایش محتوای پروتئین در طی پرایمینگ، احتمالا به دلیل سنتز پروتئین‌های نظیر دهیدرین‌ها، پروتئین‌های شوک حرارتی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و تطابق گیاه با تنش شوری است که می‌توان به آنزیم‌های ضد اکسند اشاره کرد که در تیمار با هیدرو و هورمون پرایمینگ به میزان زیادی افزایش می‌یابد. بنابراین، هیدرو و هورمون پرایمینگ از آسیب پروتئین‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده در نتیجه موجب افزایش میزان پروتئین می‌شود (Landi et al. 2019). تحقیق‌ها نشان داده است که پروتئین‌های محلول تحت تنش شوری در گیاه نخود کاهش می‌یابد (Azadbakht et al. 2020; Noreen et al. 2024). همچنین، پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک موجب افزایش محتوای پروتئین در نخود می‌شود (Khan & Ahmad. 2024). افزایش پروتئین با هیدرو (آب مقطر)، اسید سالیسیلیک، جیبرلین تحت تنش توسط Saadat et al. (2020a) در لوبیا نیز گزارش شده است. برای دفاع

سطح سلولی تحت تنش شوری است (Li et al. 2019)، مالون دی آلدئید به عنوان یک شاخص تنش اکسیداتیو عمل کرده و منجر به مهار جوانه‌زنی بذر می‌شود (El Mahi et al. 2019; Guo et al. 2019). افزایش مالون دی آلدئید طی تنش نشان داد که سیستم دفاعی آنتی‌اکسیداتی برای مقابله با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن کافی نبود. با این حال، تیمار با هیدرو (آب مقطر)، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین نیز کاهش قابل توجهی را در این زمینه نشان دادند و محتوای مالون دی آلدئید در بذور تیمار شده در مقایسه با بذرهای تیمار نشده بیشتر بود. افزایش مالون دی آلدئید ممکن است به تنش اکسیداتیو اندامک‌های مختلف مانند میتوکندری و کلروپلاست نیز نسبت داده شود (Hafez et al. 2015). تجمع مالون دی آلدئید با درجه پراکسیداسیون لیپیدی غشای سلولی همبستگی مثبت دارد که نشان دهنده میزان آسیب به غشای سلولی است (Imran et al. 2021). حسین و همکاران (Hussain et al. 2016) گزارش کردند که گیاهان در معرض محیط‌های نامطلوب به دلیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر به سطوح پراکسیداسیون لیپیدی بالاتری می‌شوند. محتوای مالون دی آلدئید با کاهش آنیون‌های اکسیداتیو فعال و افزایش پایداری غشاء، و با تنظیم فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز که گونه‌های فعال اکسیژن را از بین می‌برد و از سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند، دفاع گیاه را القا و تحریک می‌کند. در مطالعه حاضر، کاهش محتوای مالون دی آلدئید در بذرهای پرایم شده با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر با موفقیت تنش اکسیداتیو ناشی از شوری و همچنین آسیب گیاهچه ناشی از شوری را کاهش داد. اثرات مثبت مشابه پرایمینگ بذر لوبیا در جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و تولید گونه‌های اکسیژن فعال نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023c). پرایمینگ توانایی مهار گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش داده و تجمع مالون دی آلدئید را کاهش می‌دهد (Altaf et al. 2022). نتایج پژوهشی‌ها نشان داده است که مالون دی آلدئید طی پرایمینگ تحت تنش شوری در گیاهچه نخود کاهش می‌یابد (Arafa et al. 2020; Azadbakht et al. 2021). کاهش مالون دی آلدئید با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک، به‌ویژه جیبرلین تحت تنش توسط

سالیسیلیک عمل کرده و اثرات مضر حاصل از تنش شوری را کاهش داد. همچنین، پرایمینگ بذر نخود با هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ روند افزایشی محتوای پروتئین و قندهای محلول را در پی داشت. بنابراین، اعمال پرایمینگ با هیدرو (آب مقطر)، جیرلین و اسیدسالیسیلیک برای مقابله و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری در برخی صفات جوانه‌زنی بذر نخود قابل توصیه است.

تعارض منافع

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

References

- Al-Ashkar, I., Alderfasi, A., El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., El-Kafafi, S., & Seleiman, M. F. (2019). Detecting salt tolerance in doubled haploid wheat lines. *Agronomy*, 9(4), 211. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040211>
- Ahanger, M. A., Aziz, U., Alsahli, A. A., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate-glutathione cycle in salt-stressed *Vigna angularis*. *Biomolecules*, 10(1), 42. <https://doi.org/10.3390/biom10010042>
- Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M. X., Naz, S., Altaf, M. M., & Khan, L. U. (2022). Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants*, 11(2), 309. <https://doi.org/10.3390/antiox11020309>
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Arafa, S. A., Attia, K. A., Niedbala, G., Piekutowska, M., Alamery, S., Abdelaal, K., Alateeq, T. K., Ali, M., Elkelish, A., & Attallah, S. Y. (2021). Seed priming boosts adaptation in pea plants under drought stress. *Plants*, 10(10), 2201. <https://doi.org/10.3390/plants10102201>
- Armand, N., Amiri, H., & Ismaili, A. (2015). Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 6, 42-53. <https://doi.org/10.22067/IJPR.V1394I1.43942> [In Persian]
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment: A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88, 223-271. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88006-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88006-X)

در برابر اثرات نامطلوب تنش شوری، گیاهان مکانیسم‌های مختلفی را اتخاذ می‌کنند. افزایش تولید اسمولیت‌های آلی مانند قندها یکی از پاسخ‌های سیستمیک اصلی برای به حداقل رساندن تنش اسمزی ناشی از شوری است (Ghassemi-Golezani & Abdoli, 2022; Ozturk et al. 2021). قندها از گیاهان برای سم‌زدایی کارآمد گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از شوری حمایت می‌کنند (Ahanger et al. 2020). در واقع، تجمع کربوهیدرات‌ها در شرایط شوری سازگاری‌های هستند که تحمل به شوری را در گیاه افزایش می‌دهد (Karimian & Samiei, 2021). شوری با کاهش انبساط و تقسیم سلولی و مهار فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (Zhang et al. 2015) موجب کاهش محتوای قندهای کل می‌شود. تنش اسمزی ناشی از کاهش جذب آب به دلیل غلظت بالاتر یون، تعادل عناصر غذایی را مختل می‌کند و بر بیوشیمی کربوهیدرات‌ها تأثیر می‌گذارد و فعالیت آنزیم سلولی را مهار می‌کند (Blumwald et al. 2000; Khan & Bano, 2019). مطابق با این، میزان قند در بذره‌های پرایم‌شده با هیدرو (آب مقطر)، جیرلین و اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری بالا بیشتر بود. هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ تحت شرایط تنش شوری با افزایش قندهای محلول، تنظیم اسمزی و حفظ پتانسیل آب سلول سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری روی گیاهان می‌شود. افزایش قندهای محلول طی تنش شوری روی لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023d). گزارش‌ها نشان داده است که بر همکنش پرایمینگ و شوری روی کربوهیدرات معنی‌دار بود (Mousavi et al. 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های نخود شد و با افزایش شدت تنش شوری، رشد گیاهچه و محتوای کل پروتئین کاهش و محتوای پروتئین، مالون‌دی‌آلدئید و قندهای محلول افزایش یافت. پرایمینگ با جیرلین در افزایش قابلیت جوانه‌زنی و مقابله با تنش شوری، در صفات سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، میانگین جوانه‌زنی روزانه، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه موثرتر از هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ با اسید

- Azadbakht, M., & Balouchi, H. (2020). The effect of melatonin and hydropriming on some physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed and seedling under salinity stress. *Plant Process & Function*, 9(35), 347–358. <https://doi.org/10.1001.1.23222727.1399.9.35.25.6> [In Persian]
- Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S. H., & Jowkar, M. (2024). The seed priming using putrescine improves germination indices and seedlings morphobiochemical responses of indigo (*Indigofera tinctoria*) under salinity stress. *Journal of Medicinal Plants & By-Products*, 13(1), 179–188. <https://doi.org/10.22034/JMPB.2023.128870>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Batool, N., Ilyas, N., Noor, T., Saeed, M., Mazhar, R., Bibi, F., & Shahzad, A. (2014). Evaluation of drought stress effects on germination and seedling growth of *Zea mays* L. *International Journal of Biosciences*, 5, 203–209. <https://doi.org/10.12692/ijb/5.4.203-209>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd ed.). *Seed Science Research*, 23(4), 289. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Blumwald, E., Aharon, G. S., & Apse, M. P. (2000). Sodium transport in plant cells. *BBA Biomembranes*, 1465, 140–151. [https://doi.org/10.1016/S0005-2736\(00\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0005-2736(00)00135-8)
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chen, L., Liu, L., Lu, B., Ma, T., Jiang, D., Li, J., Zhang, K., Sun, H., Zhang, Y., & Bai, Z. (2020). Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *PLoS ONE*, 15, e0228241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228241>
- Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q., & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1072. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01072>
- Debez, A., Ben Slimen, I. D., Bousselmi, S., Atia, A., Farhat, N., El Kahoui, S., & Abdelly, C. (2020). Comparative analysis of salt impact on sea barley from semi-arid habitats in Tunisia and cultivated barley with special emphasis on reserve mobilization and stress recovery aptitude. *Plant Biosystems*, 154(4), 544–552. <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1651777>
- Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J., & Rakshit, A. (2021). Seed priming: A potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 654001. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>
- Devasirvatham, V., Tan, D. K. Y., Gaur, P. M., Raju, T. N., & Trethowan, R. M. (2012). High temperature tolerance in chickpea and its implications for plant improvement. *Crop & Pasture Science*, 63(5), 419–428. <https://doi.org/10.1071/CP11218>
- Ding, F., Wang, R., & Chen, B. (2019). Effect of exogenous ammonium gluconate on growth, ion flux, and antioxidant enzymes of maize (*Zea mays* L.) seedlings under NaCl stress. *Plant Biology*, 21(4), 643–651. <https://doi.org/10.1111/plb.12963>
- Ebrahimi, O., Esmaili, M. M., Sabori, H., & Tahmasebi, A. (2013). Effects of salinity and drought stress on germination of two species of *Agropyron elongatum* and *Agropyron desertorum*. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 1, 31–38. <http://deej.kashanu.ac.ir> [In Persian]
- El Mahi, H., Pérez-Hormaeche, J., De Luca, A., Villalta, I., Espartero, J., Gámez-Arjona, F., Fernández, J. L., Bundó, M., Mendoza, I., & Mieulet, D. (2019). A critical role of sodium flux via the plasma membrane Na⁺/H⁺ exchanger SOS1 in the salt tolerance of rice. *Plant Physiology*, 180(2), 1046–1065. <https://doi.org/10.1104/pp.19.00324>
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Seed physiology and seed quality in soybean. *Advances in Legume Science*, 287–311.
- Eslami, V., Behdani, M. A., & Ali, S. (2009). Effect of salinity on germination and early seedling growth of canola cultivars. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 1(1), 39–46. <https://doi.org/10.22077/escs.2009.5> [In Persian]
- Eswar, D., Karuppusamy, R., & Chellamuthu, S. (2021). Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.015>
- Fabian, A., Jager, K., & Barnabas, B. (2008). Effects of drought and combined drought and heat stress on germination ability and seminal root growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Acta Biologica Szegediensis*, 52(1), 157–159. <https://abs.bibl.u-szeged.hu/index.php/abs/article/view/2610>
- Farooq, M., Basra, S. M. A., & Khan, M. B. (2007). Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53(3), 315–326. <https://doi.org/10.1080/03650340701226166>

- Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P., & Pirani, H. (2019). Effect of deterioration on germination and enzyme activity in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, 585–594. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1337.1275> [In Persian]
- Gharib, H., Hafez, E., & El Sabagh, A. (2016). Optimized potential of utilization efficiency and productivity in wheat by integrated chemical nitrogen fertilization and stimulative compounds. *Agricultural and Food Sciences*, 2, 5–20. <https://doi.org/10.1515/cerce-2016-0011>
- Ghassemi-Golezani, K., & Abdoli, S. (2022). Physiological and biochemical responses of medicinal plants to salt stress. *Environmental Challenges and Medicinal Plants*, 1, 153–181. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92050-0_6
- Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N., Cao, X., & Khan, M. A. R. (2022). Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: Understanding the physiological mechanisms. *Plant Biology*, 24, 227–239. <https://doi.org/10.1111/plb.13363>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Götz, F., Longnecker, K., Kido Soule, M. C., Becker, K. W., McNichol, J., & Kujawinski, E. B. (2018). Targeted metabolomics reveals proline as a major osmolyte in the chemolithoautotroph *Sulfurimonas denitrificans*. *MicrobiologyOpen*, 7(4), e00586. <https://doi.org/10.1002/mbo3.586>
- Golizadeh, S. K., Mahmoodi, T. M., & Khaliliaqdam, N. (2015). Effect of priming (KNO₃, ZnSO₄, distilled water) on rate of germination and seedling establishment of cannabis seed (*Cannabis sativa* L.). *Biological Forum – An International Journal*, 7, 190–194. <http://researchtrend.net/bf12/33%20tooraj%20mir%20mahmoodi.pdf>
- Guo, Q., Liu, L., & Barkla, B. J. (2019). Membrane lipid remodeling in response to salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), 4264. <https://doi.org/10.3390/ijms20174264>
- Hafez, E. M. A., Omara, E. D., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 587–602. <https://doi.org/10.1111/ppl.13261>
- Hafez, Y. M., & Abdelaal, K. A. (2015). Investigation of susceptibility and resistance mechanisms of some Egyptian wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) inoculated with *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* using certain biochemical, molecular characterization and SEM. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 6(3), 431–454. <https://doi.org/10.21608/jppp.2015.53305>
- Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant responses and tolerance to salt stress: Physiological and molecular interventions. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4810. <https://doi.org/10.3390/ijms23094810>
- Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 9326. <https://doi.org/10.3390/ijms22099326>
- Hoogenboom, G., & Peterson, C. M. (1987). Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. *Agronomy Journal*, 79(4), 598–607. <https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900040003x>
- Hussain, S., Yin, H., Peng, S., Khan, F. A., Khan, F., Sameeullah, M., Hussain, H. A., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2016). Comparative transcriptional profiling of primed and nonprimed rice seedlings under submergence stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1125. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01125>
- Hussain, S., Khan, F., Hussain, H. A., & Nie, L. (2016). Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance of rice cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 7, 116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116>
- 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, M., Latif Khan, A., Shahzad, R., Aaqil Khan, M., Bilal, S., & Khan, A. (2021). Exogenous melatonin induces drought stress tolerance by promoting plant growth and antioxidant defense system of soybean plants. *AoB Plants*, 13, plab026. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plab026>
- Iqbal, S., Hussain, S., Qayyum, M. A., & Ashraf, M. (2020). The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. *Plant Stress Physiology*, 1, 1–26. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92213>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2010). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland: The International Seed Testing Association.

- Johnson, R., & Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost-effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034>
- Karimian, Z., & Samiei, L. (2021). Mitigation of salt stress by mycorrhizal inoculation on *Nitraria schoberi* as a native landscape plant in the arid regions. *Desert*, 26(1), 16–27. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.284473.1006735>
- Khan, I. H., & Ahmad, I. (2024). Salicylic acid application improves growth and alleviates the adverse effects of heat stress in pea (*Pisum sativum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 56(1), 43–53. [https://doi.org/10.30848/PJB2024-1\(4\)](https://doi.org/10.30848/PJB2024-1(4))
- Khan, N., & Bano, A. (2019). Exopolysaccharide producing rhizobacteria and their impact on growth and drought tolerance of wheat grown under rainfed conditions. *PLoS One*, 14(9), e0222302. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222302>
- Khan, W. M., Prithiviraj, B., & Smith, D. L. (2002). Effect of foliar application of chitin oligosaccharides on photosynthesis of maize and soybean. *Photosynthetica*, 40, 621–624. <https://doi.org/10.1023/A:1024320606812>
- Kibinza, S., Bazin, J., Bailly, C., Farrant, J. M., Corbineau, F., & El-Maarouf-Bouteau, H. (2011). Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science*, 181(3), 309–315. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.06.003>
- Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by phenol-sulfuric acid method. In J. Hellebust & J. S. Craig (Eds.), *Physiological and biochemical methods* (pp. 95–97). Cambridge University Press.
- Kumar, K., Manigundan, K., & Amaresan, N. (2016). Influence of salt-tolerant *Trichoderma* spp. on growth of maize (*Zea mays*) under different salinity conditions. *Journal of Basic Microbiology*, 57(2), 141–150. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600369>
- Landi, S., Capasso, G., Ben Azaiez, F. E., & Jallouli, S. (2019). Different roles of heat shock proteins (70 kDa) during abiotic stresses in barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *Plants*, 8(8), 248. <https://doi.org/10.3390/plants8080248>
- Li, J., Yang, Y., Sun, K., Chen, Y., Chen, X., & Li, X. (2019). Exogenous melatonin enhances cold, salt, and drought stress tolerance by improving antioxidant defense in tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Molecules*, 24(9), 1826. <https://doi.org/10.3390/molecules24091826>
- Luo, Y. Z., Li, G., Yan, G., Liu, H., & Turner, N. C. (2020). Morphological features and biomass partitioning of lucerne plants (*Medicago sativa* L.) subjected to water stress. *Agronomy*, 10(3), 322. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030322>
- Ma, L., Yang, S., Simayi, Z., Gu, Q., Li, J., Yang, X., & Ding, J. (2018). Modeling variations in soil salinity in the oasis of Junggar Basin, China. *Land Degradation & Development*, 29(3), 551–562. <https://doi.org/10.1002/ldr.2890>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Malik, J. A., AlQarawi, A. A., AlZain, M. N., Dar, B. A., Habib, M. M., & Ibrahim, S. N. S. (2022). Effect of salinity and temperature on the seed germination and seedling growth of desert forage grass *Lasiurus scindicus* Henr. *Sustainability*, 14(14), 8387. <https://doi.org/10.3390/su14148387>
- Mansoor, S., Wani, O. A., Lone, J. F., Manhas, S., Kour, N., Alam, P., Ahmad, A., & Ahmad, P. (2022). Reactive oxygen species in plants: From source to sink. *Antioxidants*, 11(2), 225. <https://doi.org/10.3390/antiox11020225>
- Mansouri Gandomani, V., Omid, H., & Bostani, A. A. (2019). Study on effects of pretreatment nanoparticle silicon dioxide (SiO₂) on seed germination and biochemical indicators of soybean (*Glycine max* L.) cultivars Williams under salinity. *Iranian Journal of Seed Sciences & Research*, 6(3), 299–315. <https://doi.org/10.22124/JMS.2019.3814> [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>
- Masoumi, A., Kafi, M., Khazaei, H. R., & Davari, K. (2010). Effect of drought stress on water status, electrolyte leakage, and enzymatic antioxidants of *Kochia* (*Kochia scoparia*) under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 42(5), 3517–3524.
- Mbarki, S., Cerdà, A., Zivcak, M., Brestic, M., Rabhi, M., Mezni, M., Jedidi, N., Abdelly, C., & Pascual, J. A. (2018). Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate for the effect of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.001>
- Mazor, L., Perl, M., & Negbi, M. (1984). Changes in some ATP-dependent activities in seeds during treatment with polyethylene glycol and during the rehydration process. *Journal of Experimental Botany*, 35, 1119–1127. <https://doi.org/10.1093/jxb/35.8.1119>

- McCue, P., & Shetty, K. (2002). A biochemical analysis of mung bean (*Vigna radiata*) response to microbial polysaccharides and potential phenolic-enhancing effects for nutraceutical applications. *Food Biotechnology*, 16(1), 57–79. <https://doi.org/10.1081/FT-120004201>
- Migahid, M. M., Elghobashy, R. M., & Bidak Amin, A. W. (2019). Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H₂O₂ and magnetic field ameliorates seawater stress. *Heliyon*, 5(6), e01886. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01886>
- Mohamed, A. B., El-Banna, M. F., Farouk, S., & Khafagy, M. A. (2019). The role of grain priming and its duration on wheat germination and seedling growth. *Journal of Plant Production*, 10(4), 343–349. <https://doi.org/10.21608/jpp.2019.36267>
- Mondal, S., & Bose, B. (2021). Seed priming: An interlinking technology between seeds, seed germination, and seedling establishment. *Plant Reproductive Ecology: Recent Advances*, 2, 1–27. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100804>
- Mousavi, S. E., Omid, H., Saeedizadeh, A., & Aghighi Shahverdi, M. (2021). The effect of biological pre-treatments on germination and physiological indices of pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *Styriaca*) seedlings under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 7(2), 33–53. <https://doi.org/10.52547/yujs.7.2.33> [In Persian]
- 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, 118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00118>
- 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 & Technology*, 65(1), 1–10. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-202210213>
- Nathalie, V., & Christian, H. (2008). Proline accumulation in plants: A review. *Amino Acids*, 35(4), 753–759. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6>
- Nazari, R., Parsa, S., Tavakkol Afshari, R., & Mahmoodi, S. (2020). The effect of seed priming with salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in deteriorated seeds of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill, William variety). *Iranian Journal of Seed Science & Technology*, 9(1), 57–70. <https://doi.org/10.22034/ijss.2018.116566.1149> [In Persian]
- Omid, H., Leyla, J., & Hasanali, N. (2014). Seeds of medicinal plants and crops. *Natural Resources & Environment*, 269–189.
- Ozturk, M., Turkeyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. (2021). Osmoregulation and its actions during drought stress in plants. *Plant Physiology*, 172(2), 1321–1335. <https://doi.org/10.1111/pp.13297>
- 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 & Technology*, 12, 211–222. [In Persian]
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Rashwan, E., Alsohim, A. S., El-Gammaal, A., Hafez, Y., & Abdelaal, K. A. A. (2020). Foliar application of nano zinc oxide can alleviate the harmful effects of water deficit on some flax cultivars under drought conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29, 8889–8904. <https://www.researchgate.net/publication/344652775>
- Reason, R., Chimwe, C., Chandiposha, M., & Manjeru, P. (2023). The effect of seed priming to improve germination parameters and early growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Agronomy*, 1178679, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2023/1178679>
- Riyazuddin, R., Verma, R., Singh, K., Nisha, N., Keisham, M., Bhati, K., Kim, K. S., & Gupta, R. (2020). Ethylene: A master regulator of salinity stress tolerance in plants. *Biomolecules*, 10(6), 959. <https://doi.org/10.3390/biom10060959>
- Roshdy, A. E. D., Alebidi, A., Almutairi, K., Al-Obeed, R., & Elsabagh, A. (2021). The effect of salicylic acid on the performances of salt-stressed strawberry plants, enzymes activity, and salt tolerance index. *Agronomy*, 11(5), 775. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040775>
- Saadat, H., & Sedghi, M. (2021). Effect of priming and aging on physiological, biochemical traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Iranian Journal of Seed Research*, 11(3), 75–89. <https://doi.org/10.30495/jsr.2022.1945870.1228> [In Persian]
- Saadat, H., Soltani, E., & Sedghi, M. (2023d). 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 & Function*, 12(54), 239–258. <https://doi.org/10.1001.1.23222727.1402.12.54.15.5> [In Persian]
- Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023b). The effect of priming with different levels of chitosan on physiological and biochemical traits in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Plant Production Technology*, 14(2), 75–89. <https://doi.org/10.22084/PPT.2023.26100.2075> [In Persian]

- Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R., & Sheykhabaglou, R. (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. <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.151> [In Persian]
- Saadat, H. (2023). The effect of chitosan on the germination behavior of bean seeds under salinity stress (Ph.D. thesis). Mohaghegh Ardabili University of Ardabil, Iran.
- Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R., & Sheykhabaglou, R. (2020a). The effect of priming deterioration on the activity of antioxidant enzymes and the mobility of seed reserves in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Sadri. *Iranian Journal of Seed Science & Technology*, 8(2), 19–32. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.116851.1154> [In Persian]
- Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R., & Sheykhabaglou, R. (2020b). Effect of seed priming on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences & Research*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.22124/JMS.2020.4267> [In Persian]
- Sadeghi, H., Khazaei, F., Yari, L., & Sheidaei, S. (2011). Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6, 39–43.
- Seleiman, M. F., Semida, W. M., Rady, M. M., Mohamed, G. F., Hemida, K. A., Alhammad, B. A., Hassan, M. M., & Shami, A. (2020). Sequential application of antioxidants rectifies ion imbalance and strengthens antioxidant systems in salt-stressed cucumber. *Plants*, 9(12), 1783. <https://doi.org/10.3390/plants9121783>
- Sen, A., & Puthur, J. T. (2020). Seed priming-induced physiochemical and molecular events in plants coupled to abiotic stress tolerance: An overview. In M. A. Hossain (Ed.), *Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants* (pp. 303–316). Acad India Press.
- Shafi, A., Zahoor, I., & Mushtaq, U. (2019). Proline accumulation and oxidative stress: Diverse roles and mechanism of tolerance and adaptation under salinity stress. In *Salt stress, microbes, and plant interactions* (pp. 269–300). Mechan. Molecular Approach. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8805-7_13
- Sher, A., Sarwar, T., Nawaz, M., Ijaz, A., Sattar, A., & Ahmad, S. (2019). Methods of seed priming. In M. Hasanuzzaman & V. Fotopoulos (Eds.), *Priming and pretreatment of seeds & seedlings* (pp. 1–10). Springer International Press.
- Noreen, S., Saleem, S., Iqbal, U., Mahmood, S., Salim Akhter, M., Akbar, N., El-Sheikh, M., & Kaushik, P. (2024). Moringa olifera leaf extract increases physio-biochemical properties, growth, and yield of *Pisum sativum* grown under salinity stress. *Journal of King Saud University – Science*, 36(2), 103056. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.103056>
- 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, 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>
- Tahjib-Ul-Arif, M., Siddiqui, M. N., Sohag, A. A. M., Sakil, M. A., Rahman, M. M., & Polash, M. A. S. (2018). Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37, 1318–1330. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9867-y>
- 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 and Technology*, 46(2), 239–258. <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.2.06>
- Tamindži, G., Ignjatov, M., Miljaković, D., Cervenski, J., Milošević, D., Nikoli, Z., & Vasiljević, S. (2023). Seed priming treatments to improve heat stress tolerance of garden pea (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*, 13(2), 439. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020439>
- Tarabih, M., & El-Eryan, E. (2020). Glycine betaine and proline with thinning technique for resistance to abiotic stress of Cristalina cactus pear. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(1), 68–80. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.68.80>
- Tlahig, S., Bellani, L., Karmous, I., Barbieri, F., Loumerem, M., & Muccifora, S. (2021). Response to salinity in legume species: An insight into the effects of salt stress during seed germination and seedling growth. *Chemistry and Biodiversity*, 18, e2000917. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000917>
- Tsonev, T. D., Lazova, G. N., Stoinova, Z. G., & Popova, L. P. (1998). A possible role for jasmonic acid in adaptation of barley seedlings to salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 17(3), 153–159. <https://doi.org/10.1007/PL00007029>
- Wahid, A., Noreen, A., Basra, S. M., 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.

Wallace, T. C., Murray, R., Kathleen, M., & Zelman, K. (2016). The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*, 8(12), 766. <https://doi.org/10.3390/nu8120766>

Wassie, M., Zhang, W., Zhang, Q., Ji, K., & Chen, L. (2019). Effect of heat stress on growth and physiological traits of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and a comprehensive evaluation for heat tolerance. *Agronomy*, 9(10), 597. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100597>

Zamani, A., Sadat Nouri, S. A., Tavakol Afshari, R., Iran Nejad, H., Akbari, G. H. A., & Tavakoli, A. (2010). Evaluation of lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes in safflower seed under natural and artificial aging. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 41(3), 545–554. <https://doi.org/10.1001.1.20084811.1389.41.3.12.5> [In Persian]

Zhang, X. H., Zhou, D., Cui, J. J., Ma, H. L., Lang, D. Y., Wu, X. L., Wang, Z. S., Qiu, H. Y., & Li, M. (2015). Effect of silicon on seed germination and the physiological characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* under different levels of salinity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90, 439–443. <https://doi.org/10.1080/14620316.2015.11513207>

Zulfiqar, F., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2020). Osmoprotection in plants under abiotic stresses: New insights into a classical phenomenon. *Planta*, 251(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03293-1>