Research Article

Iranian Journal of Seed Research, 2025, 11(2): 111-124

Effect of seed priming with salicylic acid on germination and biochemical traits of bread wheat (*Triticum aestivum* cv. Sain) under salinity stress

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

Extended abstract

Introduction: The world population is expected to increase rapidly until 2050. For this reason, it is thought that the existing lands will be insufficient for growing grains in order to meet the increasing food needs in thefuture. The decrease in agricultural lands as a result of the increase in biotic and abiotic stress factors are among the important obstacles to agriculture. Wheat, an annual herbaceous plant, is used as a basic and strategic nutrient both in Iran and in the world. 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 pretreatment 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 improves the seed to germinate. The aim of this study was to evaluate the effect of seed priming with salicylic acid on germination and biochemical traits of wheat under salinity stress.

Materials and Methods: The experiment was conducted as factorial arrangement based on a completely randomized design with four replications at the laboratory of the Faculty of Agriculture University of Mohaghegh Ardabili in 2024. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 200 mM NaCl) and four levels of salicylic acid (0, 0.1, 0.5 and 1 mM).

Results: The results showed that salinity stress decreased germination percentage and increased the amount of proline and soluble sugars content, but priming with hydro, salicylic acid 0.1 and 0.5 mM especially salicylic acid 1mM improved these traits. The proline and soluble sugars content in priming with 1mM salicylic acid application were 22% and 43% higher than the control (distilled water). The activity of catalase enzyme in 1 mM salicylic acid treatment and salinity of 200 mM compared with the control showed an increase about 61%. Also the highest amount of α-amylase enzyme activity (4.40 mg maltose g^{-1} FW seed min^{-1}) was obtained in the treatment with 1 mM salicylic acid and without salinity.

Conclusions: The results of this research showed that seed hydropriming (distilled water), and different levels of salicylic acid, especially 1mM salicylic acid by stimulating antioxidant enzymes and neutralizing free radicals can be considered as a growth enhancer and reduce the adverse effects of salinity in wheat plant.

***Keywords:* Amylase, Proline, Salicylic Acid, Sodium Chloride, Soluble Sugars**

***Highlights*:**

1. Seed priming with distilled water, and 1mM salicylic acid improved germination percentage of wheat seed under salinity.
2. Hydropriming and 1mM salicylic acid increased the activity of catalase, α-amylase, proline and soluble sugars content.
3. Priming with 1mM salicylic acid showed a better effect than other treatments on germination indices and biochemical characteristics.

[1] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
[2] Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*Corresponding author, E-mail: t.saadat2020@gmail.com

Received: 7.6.2024; Revised: 23.10.2024;
Accepted: 26.10.2024; Online Published: 21.3.2025

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.111

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

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

مقاله پژوهشی

پژوهش‌های بذر ایران/ سال یازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۳/ صفحات: ۱۲۴-۱۱۱

تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک روی جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاهچه گندم نان (*Triticum aestivum*) رقم سائین تحت تنش شوری

هانیه سعادت[۱*]، محمد صدقی[۲]

چکیده مبسوط

مقدمه: انتظار می‌رود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به سرعت افزایش یابد، به همین دلیل، تصور می‌شود که زمین‌های موجود برای رشد غلات جهت تامین نیازهای غذایی فزاینده در آینده ناکافی باشند. کاهش اراضی کشاورزی در نتیجه افزایش عوامل تنش زیستی و غیرزیستی از جمله موانع مهم کشاورزی است. گندم یک گیاه علفی یکساله به عنوان یک ماده غذایی اساسی و راهبردی هم در ایران و هم در جهان استفاده می‌شود. شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که امنیت غذایی را در جهان با تأثیر بر تولیدات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تهدید می‌کند. پیش‌تیمار بذر روشی برای به حداقل رساندن زمان سبز شدن، تضمین جوانه‌زنی مداوم و بهبود عملکرد محصول است، پیش‌تیمار یک تیمار قبل از کاشت است که منجر به شرایط فیزیولوژیکی می‌شود که جوانه‌زدن بذر را بهبود می‌بخشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک روی جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاهچه گندم تحت تنش شوری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و چهار سطح اسیدسالیسیلیک (صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش درصد جوانه‌زنی و افزایش مقدار پرولین و محتوای قندهای محلول گردید، ولی هیدرو پیش‌تیمار، و پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار به‌ویژه اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار این صفات را بهبود بخشید. مقدار پرولین و محتوای قندهای محلول در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار به ترتیب در حدود ۲۲ و ۴۳ درصد نسبت به شاهد (آب مقطر) بیشتر بود. فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد در حدود ۶۱ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین، بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز (۴/۴۰ میلی‌گرم مالتوز بر گرم وزن تر بذر در دقیقه) در تیمار با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار و بدون شوری به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که هیدروپیش‌تیمار بذر، و پیش‌تیمار با سطوح مختلف اسید سالیسیلیک به‌ویژه اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار با تحریک آنزیم‌های پاداکسیدانت و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌تواند به عنوان بهبوددهنده رشد و کاهنده اثرات نامطلوب شوری در گیاه گندم مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: اسید سالیسیلیک، آمیلاز، پرولین، قندهای محلول، کلرید سدیم

جنبه‌های نوآوری:

۱- پیش‌تیمار بذر با آب و اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار سبب بهبود درصد جوانه‌زنی بذر گندم تحت شرایط شوری گردید.

۲- پیش‌تیمار بذر با آب و اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آلفا آمیلاز، پرولین و قندهای محلول را افزایش داد.

۳- پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار تأثیر بهتری نسبت به سایر تیمارها بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی نشان داد.

[۱] دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

[۲] استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

[*] رایانامه نویسنده مسئول: t.saadat2020@gmail.com

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.111

شاپا: ۱۴۸۰-۲۳۸۳ (برخط)؛ ۱۲۵۱-۲۳۸۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۸؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۸/۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۵؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین منبع اصلی تغذیه برای اکثریت مردم در جهان است (محمد[1] و همکاران، ۲۰۱۹). این گیاه دارای پروتئین، ویتامین‌ها (۲۵-۲۰٪) و فیبرهای غذایی می‌باشد (مقدم[2] و همکاران، ۲۰۲۳). بهترین تولید گندم را می‌توان در محیطی عاری از تنش به‌دست آورد، با این حال عوامل غیرزیستی از جمله تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر و استقرار آتی گیاهچه گندم توسط محققان مورد تأیید قرارگرفته است (قلی‌نژاد[3]، ۲۰۱۴).

تنش شوری تقریبا شناخته شده‌ترین علت محدودیت رشد در بین تنش‌های محیطی است که باعث ایجاد تنش اسمزی در اطراف بذر شده و جذب آب توسط بذر را محدود می‌کند، در نتیجه مانع جوانه‌زنی بذر یا تاخیر آن می‌گردد (گو[4] و همکاران، ۲۰۲۰). شوری باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی برنج می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن، از جمله پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های سوپراکسید، باعث آسیب اکسیداتیو به اجزای سلولی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA می‌شوند. این تنش اکسیداتیو عملکرد طبیعی سلولی را مختل کرده و می‌تواند منجر به مرگ سلولی شود (حسین[5] و همکاران، ۲۰۲۲: حسن‌زمان[6] و همکاران، ۲۰۲۱). شوری ناشی از تجمع عناصر سدیم و کلر باعث اختلال تعادل یونی در سلول‌ها شده و با کاهش جذب عناصر ضروری، جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (پاپن[7] و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش توانایی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به دلیل شوری با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار و ۴ و ۸ دسی‌زیمنس در گونه‌های مختلف زراعی از جمله برنج (سعادت[8] و همکاران، ۲۰۲۳a) و گندم (البابجی و مرعشی[9]، ۲۰۲۴) گزارش شده است.

برای ایجاد سازوکارهای دفاعی مختلف، مانند دفاع پاداکسیدانتی و تنظیم اسمزی در برابر شوری از پیش‌تیمار استفاده می‌شود (وان زلم[10] و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌تیمار شامل جذب آب و خشک کردن بذرها برای بهبود فرآیندهای متابولیک قبل از جوانه‌زنی است (رحمان[11] و همکاران، ۲۰۲۱). پیش‌تیمار بذر، تولید گونه‌های اکسیژن فعال را تنظیم و آن‌ها را سم-زدایی می‌کند که منعکس کننده پاسخ‌های دفاعی آنزیم‌های پاداکسیدانت طی پیش تیمار است (پیری[12] و همکاران، ۲۰۲۱)، و می‌تواند به بذرها در ایجاد تحمل متقاطع در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند سمیت یونی، تنش شوری و تنش اسمزی کمک کند (الحماد[13] و همکاران، ۲۰۲۳). گیاهچه‌های حاصل از بذرهای تیمارشده گندم با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری جوانه‌زنی زودهنگام و یکنواخت‌تری دارند (عبدی[14] و همکاران، ۲۰۲۲). پیش‌تیمار هورمونی یکی از روش‌های رایج پیش‌تیمار است که در آن بذرها در فیتوهورمون‌های ضروری مانند اسیدسالیسیلیک برای بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در شرایط تنش خیسانده می‌شوند (رحمان و همکاران، ۲۰۲۱).

اسید سالیسیلیک ترکیب فنلی طبیعی و تنظیم کننده رشد گیاه است که در متابولیسم و بهبود تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی مختلف از جمله شوری موثر می‌باشد. علاوه بر این، نقش‌های مختلفی در رشد گیاه و فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله جوانه‌زنی بذر ایفا می‌کند. پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم در شرایط تنش شوری می‌شود (تانیا[15] و همکاران، ۲۰۲۱). هورمون‌های گیاهی مانند اسید سالیسیلیک و جیبرلین پاسخ‌های تنش غیرزیستی را تنظیم می‌کنند (وادت[16] و همکاران، ۲۰۲۲). پیش‌تیمار با اسیدسالیسیلیک تحمل به شوری بالا در گیاه گندم

[1] Mohamed
[2] Moghaddam
[3] Gholinezhad
[4] Guo
[5] Hossen
[6] Hasanuzzaman
[7] Papan
[8] Saadat
[9] Albaji and Marashi
[10] Van Zelm
[11] Rhaman
[12] Piri
[13] Alhammad
[14] Abdi
[15] Tania
[16] Waadt

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

ایجاد می‌کند (ال-هاواری[1] و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات مطالعات اخیر نشان داد که تیمارهای مختلف هورمون پیش‌تیمار از جمله اسید سالیسیلیک باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد و آنزیم‌های آنتی اکسیدانت از جمله کاتالاز در گیاه لوبیا می‌شود (سعادت و صدقی[2]، ۲۰۲۱). همچنین، گزارش شده است که پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک درصد جوانه‌زنی را در گندم افزایش می‌دهد (محمد و همکاران، ۲۰۱۹).

شوری مانع اصلی برای تولید محصول است. پیش‌تیمار بذر می‌تواند به طور موثر تحمل شوری را ایجاد کند. گندم یکی از محصولات عمده غلات در جهان است و شوری رشد و عملکرد گیاهچه گندم را به شدت کاهش می‌دهد. بنابراین، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با آب مقطر و مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک روی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه گندم در کاهش تاثیرات منفی شوری روی رشد گیاه است.

مواد و روش‌ها

به این منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ با ۳ تکرار و چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) (عبدی و همکاران، ۲۰۲۲) و چهار سطح اسیدسالیسیلیک (صفر (آب مقطر)، ۰/۱، ۱ و ۲ میلی‌مولار) انجام شد. بذرهای گندم نان رقم سائین طبقه بذر گواهی شده تولید ۱۴۰۲ از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شد. ابتدا بذرها درون محلول‌های پیش‌تیمار و آب مقطر به‌مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از پیش‌تیمار، بذرها به‌وسیله آب مقطر شستشو و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خشک گردیدند. سپس، ۲۵ عدد بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت، و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم برند مرک) با غلظت‌های مختلف براساس میزان سطوح شوری در تیمارها به مقدار ۶ میلی‌لیتر اضافه گردید. سپس، پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به‌مدت ۸ روز قرار داده شد. معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان ۲ میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ (امیدی[3] و همکاران، ۲۰۱۵) استفاده شد.

$$GP^{4} = (n\times100) / N \qquad \text{رابطه ۱}$$

n: تعداد بذر جوانه‌زده، N: تعداد کل بذرها

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت در گندم، گیاهچه‌ها در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس در داخل پتری درون ژرمیناتور به مدت ۸ روز رشد داده شدند و پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار پنج گیاهچه به تصادف انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل آلومینیومی، به فریزر با دمای ۷۲- درجه منتقل گردیدند. به‌منظور استخراج عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم نمونه از هر تیمار وزن شده و در داخل هاون چینی (که از قبل در یخچال نگهداری شده بود) با استفاده از نیتروژن مایع هموژن گردید و بعد از آن ۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) حاوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA به هاون افزوده شد. سپس، هموژن‌ها به اپندورف‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس در ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شدند. تمامی مراحل در روند تهیه عصاره آنزیمی در دمای ۴-۱ درجه‌ی سلسیوس انجام گرفت. جهت پیشگیری از انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها، سوپرناتانت حاصل به سه قسمت تقسیم شد و تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های پاداکسیدانت در دمای ۲۰- درجه‌ی سلسیوس نگهداری شدند (سایرام[5] و همکاران، ۲۰۰۲).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش (ابی[6]، ۱۹۸۴) اندازه‌گیری گردید. مواد شیمیایی مورد نیاز شامل ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود که حجم نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. با افزودن پراکسید هیدروژن

[1] El-Hawary
[2] Saadat and Sedghi
[3] Omidi
[4] Germination percentage
[5] Sairam
[6] Aebi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

واکنش شروع گردید و تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. محلول جذب زمینه برای دستگاه شامل تمام موارد استفاده شده به جز عصاره آنزیمی استخراج شده بود. میزان پراکسید هیدروژن تجزیه شده با استفاده از ضریب خاموشی ($\varepsilon=$ 39.4 $\mu M^{-1}cm^{-1}$) محاسبه و فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: مطابق روش دومان[1]، (۲۰۰۶) فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز اندازه‌گیری شد. بذرها در بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار (pH=۶/۸) هموژنیزه و سپس در ۱۲۰۰۰g و بـه مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. فعالیت آنزیم در محیط واکنش که حاوی ۶۰ میلی مولار بافر فسفات (pH= ۶/۸)، ۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر کلسیم کلراید و۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر نشاسته بـود، مشـخص شـد. عصاره آنزیم (یک میلی‌لیتر) پس از۲۰ دقیقه خوابانیدن در حمام آب گرم به محیط آزمایش اضافه شد. فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بـا استفاده از نشاسته و با طول موج ۶۲۰ نانومتر به صورت میلی‌گرم مالتوز بر گرم وزن تر بذر در دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مشخص شد.

سنجش میزان پرولین: سنجش میزان پرولین براساس روش بیتس[2] و همکاران (۱۹۷۳) انجام گردید. در این روش ۰/۵ گرم از ریشه‌چه با ۵ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک له گردید. پس از صاف کردن با صافی از مخلوط همگن حاصل، ۲ میلی‌لیتر 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 سلسیوس 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 میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

[1]Duman
[2]Bates

سنجش قندهای محلول: میزان قندهای محلول به روش فنل سولفوریک (کوچرت[3]، ۱۹۷۸) 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 له گردید. پس از صاف کردن، از عصاره گیاهی حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و بعد از افزدون 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.

تجزیه 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.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده اسید سالیسیلیک و شوری روی درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بـیش‌تـرین درصد جوانـه‌زنـی (۹۰/۵ درصد) در پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و کم‌ترین درصد جوانـه‌زنـی (۸۳/۷ درصد) در شاهد (آب مقطر) مشاهده گردید (جدول ۲). البته پرایمینگ با آب مقطر و اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اثر قابل توجهی روی این صفات گذاشت، اما تاثیر اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بیشـتر از آب مقطر و اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار بود.

[3]Kochert

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر اسید سالیسیلیک و شوری روی صفات مورد مطالعه در گیاهچه گندم

Tabel 1. Analysis of variance for the effect of salicylic acid and salinity on studied traits in wheat seedling

		میانگین مربعات Mean of square				
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	فعالیت کاتالاز Catalase	آلفاآمیلاز α Amylase	محتوای پرولین Proline	محتوای قندهای محلول Soluble Sugars
پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک Priming by salicylic acid (SA)	3	124**	455**	8.55**	0.0447**	1309**
شوری Salinity (S)	3	522**	94.2**	7.12**	0.3855**	173**
اسید سالیسیلیک و شوری SA×S	9	6.80 ns	33.3*	0.588**	0.0080 ns	5.49 ns
خطا Error (E)	30	8.95	14.9	0.172	0.0074	8.22
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.37	14.8	19.5	21.8	6.61

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 level

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر اسید سالیسیلیک و شوری روی صفات مطالعه شده در گندم

Tabel 2. Mean comparison for the effect of salicylic acid and salinity on studied traits in wheat

تیمارها Treatments	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	محتوای پرولین Proline (mg g^{-1}FW)	محتوای قندهای محلول Soluble Sugars (mg g^{-1}FW)
پیش‌تیمار با آب مقطر Hydropriming	83.7 b	0.365 bc	31.9 d
پیش‌تیمار با اسیدسالیسیلیک ۰/۱ (میلی‌مولار) Priming by salicylic acid 0.1(mM)	90.2 a	0.328 c	38.4 c
پیش‌تیمار با اسیدسالیسیلیک ۰/۵ (میلی‌مولار) Priming by salicylic acid 0.5 (mM)	89.5 a	0.410 ab	46.9 b
اسیدسالیسیلیک ۱ (میلی‌مولار) Priming by salicylic acid 1(mM)	90.5 a	0.470 a	56.0 a
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)			
0	95.7 a	0.203 d	39.1 c
50	91.6 b	0.300 c	41.4 c
100	86.1 c	0.462 b	45.1 b
200	80.5 d	0.610 a	47.6 a

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

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

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

مقدار درصد جوانه‌زنی با تشدید شوری کاهش یافتند. به‌طوری که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۵/۷ درصد) در شاهد (بدون شوری) و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۸۰/۵ درصد) در شوری۲۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۲).

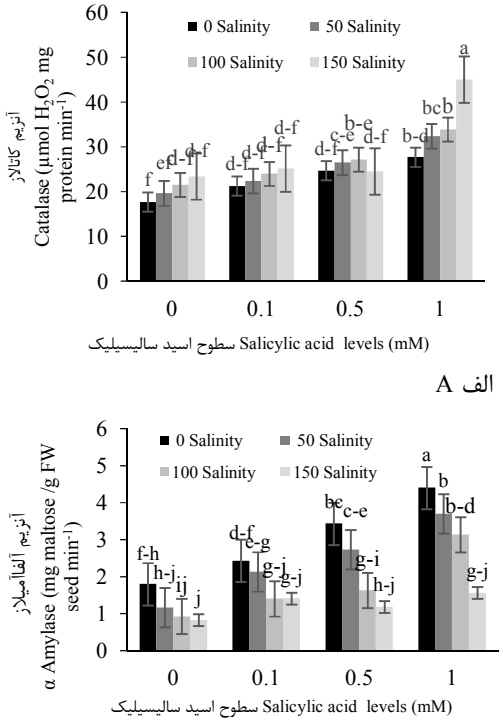
تنش شوری از طریق کاهش فعالیت‌های متابولیکی مورد نیاز، جوانه‌زنی بذر را کاهش داده و روند جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (دباز[1] و همکاران، ۲۰۲۰). در حقیقت، شوری با محدودیت جذب آب، پتانسیل آبی را کاهش داده و با افزایش تجمع بالای کلرید سدیم، درصد جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (فاضلی نسب[2] و همکاران، ۲۰۲۳). یون‌های سدیم و کلر اضافی جذب شده موجب سمیت یونی شده و از طریق تنفس و هیدرولیز مواد مغذی بر فرآیندهای متابولیکی بذر تأثیر می‌گذارد (موانداو[3] و همکاران، ۲۰۲۰؛ نصیر[4] و همکاران، ۲۰۲۲). در این تحقیق، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک موجب فعال‌سازی آنزیم‌ها به‌ویژه آلفا آمیلاز در جنین شد و علاوه بر آن موجب افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانتی از جمله آنزیم کاتالاز شد، این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسیون لیپیدها طی تنش شوری کاهش داده و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود. در واقع، پیش‌تیمار بذر با فعال کردن برخی آنزیم‌ها در بذر درصد جوانه‌زنی افزایش داده و دسترسی به مواد مغذی را راحت‌تر می‌کند، در نهایت بذرهای پرایم شده سریع‌تر جوانه زده و تنش را تحمل می‌کند (بهراسیمانی[5] و همکاران، ۲۰۲۴). نتایج این تحقیق با نتایج سعادت و همکاران (۲۰۲۳b؛ ۲۰۲۳a) در راستای کاهش درصد جوانه‌زنی تحت شرایط تنش شوری در گیاه لوبیا مطابقت دارد.

فعالیت آنزیم کاتالاز: در این تحقیق، اثر ساده اسید سالیسیلیک و شوری بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). پرایمینگ با آب مقطر، اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۰/۱ میلی‌مولار توانست روی فعالیت آنزیم کاتالاز تاثیر بگذارد، اما تاثیر اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بیشتر از اسید سالیسیلیک ۰/۵، ۰/۱ میلی‌مولار و هیدروپرایمینگ بود. همچنین، با افزایش سطوح شوری فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۴۵ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در تیمار با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و با شوری۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد و کمترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۷/۷ میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (آب مقطر) و بدون شوری مشاهده شد (شکل 1a).

آنزیم‌های پاداکسیدانت نقشی اساسی در مهار گونه‌های فعال اکسیژن دارند. هنگامی که گیاهان در معرض شوری قرار می‌گیرند، گونه‌های فعال اکسیژن به‌ویژه در میتوکندری و کلروپلاست تولید می‌شوند (منصور[6] و همکاران، ۲۰۲۲؛ کوهلی[7] و همکاران، ۲۰۱۹). گونه‌های فعال اکسیژن بسیار مضر بوده و سبب آسیب سلولی، پراکسیداسیون لیپیدی، اکسیداسیون پروتئین و تخریب اسید نوکلئیک می‌شود (کوهلی و همکاران، ۲۰۱۹). برای مقابله با اثرات مضر گونه‌های فعال اکسیژن یک سامانه دفاعی پاداکسیدانتی قوی شامل اجزای آنزیمی مانند کاتالاز ضروری است (افروز[8] و همکاران، ۲۰۲۳). در مطالعه ما، افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم کاتالاز، در گیاهچه‌های گندم در معرض تنش شوری مشاهده شد. این افزایش را می‌توان به واکنش گیاهان به تنش شوری نسبت داد. افزایش در فعالیت کاتالاز، می‌تواند به‌طور بالقوه به سم‌زدایی سوپراکسید و پراکسید هیدروژن ناشی از تنش شوری در گیاهچه‌های گندم کمک کند. در واقع، تنش شوری، بیوسنتز پراکسید هیدروژن را که پایه و اساس انقباض سلولی، تجزیه DNA و کوتاه شدن کروماتین است، را افزایش می‌دهد (جونگ[9] و همکاران، ۲۰۲۲). پاداکسیدانت‌های آنزیمی با حذف سطح بالاتر پراکسید هیدروژن به کاهش تنش کمک می‌کنند (دانوچی[10] و

[1] Debez
[2] Fazeli-Nasab
[3] Mwando
[4] Naseer
[5] Bahrasemani
[6] Mansoor
[7] Kohli
[8] Afrouz
[9] Jeong
[10] Danouche

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]



شکل ۱. اثر متقابل اسید سالیسیلیک و شوری برای فعالیت آنزیم کاتالاز (الف) و آلفا آمیلاز (ب) در گندم. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 1. Interaction of salicylic acid and salinity for catalase and alpha amylase (B) in wheat; The different letters indicate significant differences at 5% probability level.

همکاران، ۲۰۲۰). در این مطالعه افزایش آشکاری در فعالیت آنزیم کاتالاز مشاهده شد که نشان دهنده پتانسیل ایجاد سازوکارهایی برای کاهش شوری است. مطالعات قبلی هم‌چنین، تغییرات در فعالیت آنزیم کاتالاز را در گیاه برنج در معرض تنش شوری گزارش کرده‌اند (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳a). گیاهان با متعادل کردن یون‌ها، فعال کردن سازوکارهای دفاعی پاداکسیدانتی، ایجاد انواع فیتوهورمون‌ها و محافظت کننده‌های اسمزی، تنش اسمزی حاصل از شوری را پاسخ می‌دهند. این سازگاری‌ها، سمیت یونی و آسیب گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش داده و در نتیجه گیاهان را از پیامدهای منفی تنش اسمزی محافظت می‌کند (راضا[1] و همکاران، ۲۰۲۳). اسید سالیسیلیک به عنوان پاداکسیدان عمل کرده، با فعال نمودن و افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانت، گونه‌های فعال اکسیژن حاصل از تنش اکسیداتیو را از بین برده و از سلول پاک می‌کند (موتلو[2] و همکاران، ۲۰۰۹). پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک نشان می‌دهد که این اسید به درون بذر انتقال یافته و باعث فعال شدن برخی از فرآیندهای مرتبط می‌شود. بذرهای پرایم شده با اسید سالیسیلیک ممکن است بتوانند با کاهش سطح گونه‌های فعال اکسیژن برای القاء پاسخ پیامرسانی به عوامل ایجادکننده تنش اکسیداتیو مجهز شوند (گالویز فاجاردو[3] و همکاران، ۲۰۲۰). محققان نشان داده‌اند که پیش‌تیمار می‌تواند آسیب‌ها را از طریق تشکیل زیر واحدهای کاتالاز در سیتوپلاسم جبران کرده و سنتز آن را کامل کند و شدت تنش اکسیداتیو را تا حدی با بهبود فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت کاهش دهد (ایکسیا[4] و همکاران، همکاران، ۲۰۱۵). گزارش‌ها نشان داده است که پیش‌تیمار تحت تنش فعالیت آنزیم کاتالاز را در گندم افزایش می‌دهد (تکریلدیز[5] و همکاران، ۲۰۲۴).

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اسید سالیسیلیک و شوری و برهمکنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). هم‌چنین مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۴/۴۰ میلی‌گرم مالتوز بر گرم وزن تر بذر در دقیقه) در تیمار با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و بدون شوری و کم‌ترین مقدار فعالیت این آنزیم (۰/۸۳۰ میلی‌گرم مالتوز بر گرم وزن تر بذر در دقیقه) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بود (شکل 1b).

تنش شوری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را با تجمع سدیم و کلر و تخریب غشای سلولی کاهش می‌دهد. کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تأثیر منفی بر فعالیت‌های آنزیمی و جوانه‌زنی بذر دارد و در نهایت موجب تأخیر در جوانه‌زنی و کاهش رشد گندم می‌شود (مرادی و پیری[6]، ۲۰۱۸). هم‌چنین، تنش شوری با

[1] Raza

[2] Mutlu
[3] Galviz-Fajardo
[4] Xia
[5] Teker Yildiz
[6] Moradi and Piri

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

کاهش فعالیت آلفا آمیلاز در بذر گیاهان موجب کاهش تشکیل گلوکز از نشاسته شده و با کاهش ساخته شدن ساکارز موجب محدود شدن محور جنینی‌زا و محدودیت رشد گیاهچه می‌شود (مهرابی اولادی[1] و همکاران، ۲۰۱۸). در حقیقت، کاهش فعالیت آلفا آمیلاز تحت تنش شوری موجب کاهش متابولیسم ذخایر غذایی بذر و کاهش رشد گیاهچه می‌شود (دخیل و دندن[2]، یکی از اثرات پیش‌تیمار، افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز است، از آنجایی‌که، این آنزیم مسئول تجزیه کربوهیدرات‌های ذخیره شده است، پس افزایش این آنزیم ترکیبات سرشار از انرژی ضروری را برای جوانه‌زنی افزایش می‌دهد (لی[3] و همکاران، ۲۰۱۷). افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز طی پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری توسط سجودی[4] و همکاران (۲۰۱۴) روی ذرت گزارش شده است. نتایج پژوهشی نشان داد که میزان آلفا آمیلاز تحت تنش شوری در گیاهچه برنج افزایش یافت (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳a).

پرولین: طبق جدول تجزیه واریانس اثر اسید سالیسیلیک و تنش شوری بر پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و برهمکنش آن‌ها غیر معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار پرولین (۰/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بود. البته پرایمینگ با آب مقطر و سطوح دیگر اسید سالیسیلیک نیز روی پرولین تاثیر داشت، و کم‌ترین مقدار پرولین (۰/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد (آب مقطر) بود. با افزایش سطوح شوری مقدار پرولین افزایش یافت. به‌طوری که، بیش‌ترین مقدار پرولین (۰/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به‌دست آمد.

در پاسخ به تنش شوری، گیاهان سازوکارهای سازگاری مختلفی را برای کاهش اثرات آن نشان می‌دهند. این سازوکارها شامل سنتز محافظت کننده‌های اسمزی از جمله پرولین، که به بهبود جذب آب کمک می‌کند و برای به حداقل رساندن آسیب اکسیداتیو، آنزیم‌های پاداکسیدانت را فعال می‌کند (عبدالعال[5] و همکاران، ۲۰۲۲; محی‌اودین[6] و همکاران، همکاران، ۲۰۲۱). پرولین یک نشانگر زیستی تنش است که به عنوان یک اسمولیت برای حفظ یکپارچگی سلولی و از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کند (کائور[7] و همکاران، ۲۰۲۱). خواص ساختاری منحصر به‌فرد پرولین و توانایی تشکیل پیوندهای هیدروژنی، آن را در حفظ یکپارچگی ساختاری زیست مولکول‌ها ارزشمند می‌کند (شفیع[8] و همکاران، ۲۰۱۹). افزایش پرولین آسیب غشا و پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد (یجاز[9] و همکاران، ۲۰۲۰). در این مطالعه، کاربرد آب مقطر و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک اثر منفی شوری بر رشد گیاه گندم را کاهش داده و تجمع پرولین را افزایش داد. این می‌تواند به دلیل تعادل یونی در نتیجه پایداری غشای سلولی در یکپارچگی مثبت بین عناصر سدیم و سایر مواد مغذی باشد (روشدی[10] و همکاران، ۲۰۲۱). از علل دیگر، افزایش پرولین طی پیش‌تیمار می‌توان به کاهش ساخت پروتئین، افزایش ساخت پرولین از گلوتامات یا اورنیتین، کاهش تخریب پرولین و افزایش آنزیم‌های هیدرولیزکننده پروتئین اشاره کرد (ترابیه و ایل-ایریان[11]، ۲۰۲۰؛ گوتز[12] و همکاران، ۲۰۱۸). گزارش شده است که محتوای پرولین در گیاهان نخود به موازات افزایش تنش شوری افزایش می‌یابد (نورین[13] و همکاران، ۲۰۲۴).

پرولین از طریق تثبیت غشاها و پروتئین‌ها، پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ تعادل ردوکس سلولی و تنظیم پتانسیل اسمزی باعث افزایش تحمل گیاه به تنش می‌شود (قوش[14] و همکاران، ۲۰۲۲؛ شفیع و همکاران، ۲۰۱۹).

[1] Mehrabi Oladi
[2] Dkhil and Denden
[3] Li
[4] Sojoodi

[5] Abdelaal
[6] Mohi-Ud-Din
[7] Kaur
[8] Shafi
[9] Ejaz
[10] Roshdy
[11] Tarabih and El-Eryan
[12] Go¨tz
[13] Noreen
[14] Ghosh

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

قندهای محلول: در این تحقیق، اثر اسید سالیسیلیک و تنش شوری بر محتوای قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۱). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین محتوای قندهای محلول (۵۶/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۳۱/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد بود. البته پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۵، ۰/۱ میلی‌مولار و هیدروپرایمینگ اثر قابل توجهی بر محتوای قندهای محلول گذاشتند، اما تاثیر اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بیشتر از اسید سالیسیلیک ۰/۵، ۰/۱ میلی‌مولار و هیدروپرایمینگ بود (جدول ۲). با افزایش شوری محتوای قندهای محلول افزایش یافت. به‌طوری که، بیش‌ترین محتوای قندهای محلول (۴۷/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین (۳۹/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) آن در شاهد (بدون شوری) مشاهده شد (جدول ۲).

تجمع قندهای محلول، یک راهبرد کارآمد برای گیاهان برای مقابله با تنش اسمزی است (شابالا[1]، ۲۰۱۳). در این تحقیق، شوری موجب افزایش میزان قندهای محلول تحت تیمار با اسید سالیسیلیک گردید. استفاده از اسید سالیسیلیک جهت شکل‌گیری ساختارهای سلولی جدید، مصرف متابولیک قندهای محلول را فعال می‌سازد که خود به عنوان سازوکاری جهت تحریک رشد و افزایش تجمع پرولین و کاهش اثرات منفی تنش شوری می‌شود (جعفری[2] و همکاران، ۲۰۱۸). علت تجمع قندهای محلول در طول تنش شوری تحت تیمار با اسید سالیسیلیک ممکن است، نتیجه فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز باشد که نشاسته را تجزیه می‌کند تا پتانسیل اسمزی حفظ گردد (کوواسیک[3] و همکاران، ۲۰۰۹). اسید سالیسیلیک در شرایط تنش با افزایش قندهای محلول، تنظیم اسمزی و حفظ پتانسیل آب سلول سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری روی گیاهان می‌شود. قندهای محلول به عنوان یک منبع انرژی در طول تنش شوری عمل کرده و با غلبه بر اختلال متابولیسم سلولی سبب حفظ رشد گیاهچه می‌شود. با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، تغییرات فراساختاری در اندامک‌های سلولی مانند تونوپلاست و آنزیم‌های مسیر متابولیسم قندها ایجاد می‌شود و این یک نوع سازوکار تطابقی و سازگار یافته جهت حفظ و نگهداری پتانسیل اسمزی تحت تیمار اسید سالیسیلیک می‌باشد. تحقیقات نشان داده است با افزایش سطوح شوری قندهای محلول در گیاه کدو تنبل افزایش می‌یابد (موسوی[4] و همکاران، ۲۰۲۱) که با نتایج نتایج مشاهده شده در این آزمایش مشابه بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش تنش شوری درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌دار کاهش یافتند. تیمار با آب مقطر و اسید سالیسیلیک ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار، شاخص‌های جوانه‌زنی را تحت تنش شوری در گندم افزایش داد، اما تاثیر پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار بیشتر بود. هم‌چنین، اعمال پیش‌تیمار با آب مقطر و اسید سالیسیلیک ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار به‌ویژه پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار فعالیت آنزیم کاتالاز، آلفا آمیلاز، پرولین و قندهای محلول را در بذرهای تحت تنش شوری گندم بهبود بخشید. در نهایت، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار می‌تواند راهکاری مناسب برای کاهش اثر منفی شوری در گیاه گندم سائین باشد.

[1] Shabala
[2] Jafari
[3] Kovacik
[4] Mousavi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

منابع

Abdelaal, K., Alsubeie, M.S., Hafez, Y., Emeran, A., Moghanm, F., Okasha, S., Omara, R., Basahi, M.A., Darwish, D.B.E. and Ibrahim, M.F.M. 2022. Physiological and biochemical changes in vegetable and field crops under drought, salinity and weeds stresses: Control strategies and management. Agriculture, 12: 2084. https://doi.org/10.3390/agriculture12122084

Abdi, N., Van Biljon, A., Steyn, C. and Labuschagne, M.T. 2022. Salicylic acid improves growth and physiological attributes and salt tolerance differentially in two bread wheat cultivars. Plants, 11: 1853. https://doi.org/10.3390/plants11141853

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

Afrouz, M., Sayyed, R.Z., Fazeli-Nasab, B., Piri, R., Almalki, W.H. and Fitriatin, B.N. 2023. Seed bio-priming with beneficial *Trichoderma harzianum* alleviates cold stress in maize. PeerJ, 11: e15644. https://doi.org/10.7717/peerj.15644

Albaji, Z. and Marashi, S.K. 2024. Effect of seed priming with hydrogen peroxide on germination indices and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 12(4): 57-67. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361399.1476

Alhammad, B.A., Ahmad, A., Seleiman, M.F. and Tola, E. 2023. Seed priming with nanoparticles and 24-epibrassinolide improved seed germination and enzymaticb performance of *Zea mays* L. in salt-stressed soil. Plants, 12: 690. https://doi.org/10.3390/plants12040690

Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S. H. and 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 and By-products, 13(1): 179-188. https://doi.org/10.22034/jmpb.2023.128870

Bates, L.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Danouche, M., El Ghachtouli, N., El Baouchi, A. and El Arroussi, H. 2020. Heavy metals phytoremediation using tolerant green microalgae: enzymatic and nonenzymatic antioxidant systems for the management of oxidative stress. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8 (5): 104460. https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104460

Debez, A., Ben Slimen, I.D., Bousselmi, S., Atia, A., Farhat, N., El Kahoui, S. and 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: 544-552. https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1651777

Dkhil, B.B. and Denden, M. 2010. Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* L. (Moench.) Seeds. African Journal of Agricultural Research, 5: 1412-1418.

Duman, I. 2006. Effect of seed priming with PEG and K3PO4 on germination and seedling growth in lettuce. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9(5): 923-928. https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.923.928

Ejaz, S., Fahad, S., Anjum, M.A., Nawaz, A., Naz, S., Hussain, S. and Ahmad, S. 2020. Role of osmolytes in the mechanisms of antioxidant defense of plants. Sustainable Agriculture Reviews, 39: 95-117. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38881-2_4

El-Hawary, M.M., Hashem, O.S.M. and Hasanuzzaman, M. 2023. Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat. Agronomy, 13: 493. https://doi.org/10.3390/agronomy13020493

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

Farhoudi, R. and Khodarahmpour, Z. 2017. Study of germination, seedling growth and antioxidant enzymes activity of chickpea cultivars under salt stress. Plant Process and Function, 6(21): 91-102. [In Persian]

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

Galviz-Fajardo, Y.C., Bortolin, G.S., Deuner, S., Amarante, L.d., Reolon, F. and Moraes, D.M.D. 2020. Seed priming with salicylic acid potentiates water restriction-induced effects in tomato seed germination and early seedling growth. Journal of Seed Science, 42: e202042031. https://doi.org/10.1590/2317-1545v42234256

Gholinezhad, E. 2014. The effects of salinity stress on related germination traits of wheat genotypes. Journal of Plant Research, 27(2): 276-287. [In Persian]

Ghosh, U.K., Islam, M.N., Siddiqui, M.N., Cao, X. and Khan. M.A.R. 2022. Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: understanding the physiological mechanisms. Journal of Plant Biology, 24: 227-239. https://doi.org/10.1111/plb.13363

Go¨tz, F., Longnecker, K., Kido Soule, M.C, Becker, K.W., McNichol, J. and Kujawinski, E.B. 2018. Targeted metabolomics reveals proline as a major osmolyte in the chemolithoautotroph Sulfurimonas denitrificans. Microbiologyopen, 7: e00586. https://doi.org/10.1002/mbo3.586

Guo, J., Du, M., Tian, H. and Wang, B. 2020. Exposure to high salinity during seed development markedly enhances seedling emergence and fitness of the progeny of the extreme halophyte Suaeda salsa. Frontiers in Plant Science, 11: 1291. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01291

Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T.I. and Masud, A.A.C. 2021. Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. Cells, 10: 2537. https://doi.org/10.3390/cells10102537

Hossen, M.S., Karim, M.F., Fujita, M., Bhuyan, M.H.M.B., Nahar, K. and Masud, A.A.C. 2022. Comparative physiology of Indica and Japonica rice under salinity and drought stress: an intrinsic study on osmotic adjustment, oxidative stress, antioxidant defense and methylglyoxal detoxification. Stresses, 2: 156-178. https://doi.org/10.3390/stresses2020012

Jafari, L., Yadavi, A., Movahedi Dehnavi, M., Balouchi, H. and Maghsoudi, E. 2018. The effect of ascorbic acid and salicylic acid on some physiological characteristics of safflower under salinity stress. Plant Production Technology, 10: 69-80. [In Persian]

Jeong, M.J., Lim, D.S., Kim, S.O., Park, C., Leem, S.H. and Lee, H. 2022. Protection of oxidative stress-induced DNA damage and apoptosis by rosmarinic acid in Murine myoblast C_2C_{12} cells. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 27(2): 171-182. https://doi.org/10.1007/s12257-021-0248-1

Kaur, H., Manna, M., Thakur, T., Gautam, V. and Salvi, P. 2021. Imperative role of sugar signaling and transport during drought stress responses in plants. Physiologia Plantarum, 171(4): 833-848. https://doi.org/10.1111/ppl.13364

Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by phenol-sulfuric acid method. In: Hellebust, A., Craige, J.S. (eds.), Physiological and Biochemical Methods. Cambridge University Press, London, pp. 95-97.

Kohli, S.K., Khanna, K., Bhardwaj, R., Abda Allaha, E.F., Ahmad, P. and Corpas, F.J. 2019. Assessment of subcellular ROS and NO metabolism in higher plants: Multifunctional signaling molecules. Antioxidants, 8(12): 641. https://doi.org/10.3390/antiox8120641

Kovacik, J., Gruz, J., Backor, M., Strnad, M. and Repcak, M. J. 2009. Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in Matricaria chamomilla plants. Plant Cell Reports, 28(1): 135-143. https://doi.org/10.1007/s00299-008-0627-5

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

Li, F., Li, T., Sun, C., Xia, J., Jiao, Y. and Xu, H. 2017. Selenium-doped carbon quantum dots for free-radical scavenging. Angewandte Chemie International Edition, 56: 9910-9914. https://doi.org/10.1002/anie.201705989

Mansoor, S., Wani, O.A., Lone, J.F., Manhas, S., Kour, N., Alam, P. and Ahmad, P. 2022. Reactive oxygen species in plants: from source to sink. Antioxidants, 11(2): 225. https://doi.org/10.3390/antiox11020225

Mehrabi Oladi, A.A., Omidi, M. and Fazli Nasab, B. 2018. Investigating the effects of salinity stress on seed germination, seedling growth and callus cultivation of rapeseed genotypes. Iranian Journal of Field Crop Science, 42(1): 81-90. [In Persian]

Moghaddam, H., Oveisi, M., Mehr, M.K., Bazrafshan, J., Naeimi, M.H., Kaleibar, B.P. and Müller-Schärer, H. 2023. Earlier sowing combined with nitrogen fertilization to adapt to climate change effects on yield of winter wheat in arid environments: Results from a field and modeling study. European Journal of Agronomy, 146: 1-13. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126825

Mohamed, A.B., El-Banna, M.F., Farouk, S. and 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

Mohi-Ud-Din, M., Siddiqui, N., Rohman, M., Jagadish, S.K., Ahmed, J.U., Hassan, M.M., Hossain, A. and Islam, T. 2021. Physiological and biochemical dissection reveals a trade-off between antioxidant capacity and heat tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Antioxidants, 10: 351. https://doi.org/10.3390/antiox10030351

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

Mousavi, S.E., Omidi, H., Saeedizadeh, A. and Aghighi Shahverdi, M. 2021. The effect of biological pretreatments on germination and physiological indices of pumpkin (*Cucurbita pepo* var. Styriaca) seedling under salt stress. Iranian Journal of Seed Research, 7(2): 33-53. [In Persian] https://doi.org/10.52547/yujs.7.2.33

Mutlu, S., Atici, O. and Nalbantoglu, B. 2009. Effects of salicylic acid and salinity on apoplastic antioxidant enzymes in two wheat cultivars differing in salt tolerance.Biologiac Plantarum, 34: 334-338. https://doi.org/10.1007/s10535-009-0061-8

Mwando, E., Han, Y., Angessa, T.T., Zhou, G., Hill, C.B., Zhang, X.Q. and 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. and Iqbal, S. 2022. Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake and chlorophyll contents of three cucurbitaceae species. Brazilian Archives of Biology and Technology, 65: 1-10. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210213

Noreen, S., Saleem, S., Iqbal, U., Mahmood, S., Akhter, S., Akbar, M.N., El-Sheikh, M. and 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

Omidi, H., Naghdi Badi, H.A. and Jafarzadeh, L. 2015. Seeds of medicinal plants and crops. Shahed University Press. 454 p. [In Persian]

Papan, P., Moezzi, A., Chorom, M., and Rahnama, A. 2022. Biochemical and physiological response of quinoa to application of different levels of nitrogen and salinity irrigation water. Environmental Stresses in Crop Sciences, 15: 501-515. [In Persian] https://doi.org/10.22077/escs.2021.3846.1923

Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H.R. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 9(4): 11-26. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2019.109182.1054

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]

Raza, A., Charagh, S., Najafi-Kakavand, S., Abbas, S., Shoaib, Y. and Anwar, S. 2023. Role of phytohormones in regulating cold stress tolerance: physiological and molecular approaches for developing cold-smart crop plants. Plant Stress, 8: 100152. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100152

Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y. and Hasanuzzaman, M. 2021. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. Plants, 10(1): 5772-5787. https://doi.org/10.3390/plants10010037

Roshdy, A.E.D., Alebidi, A., Almutairi, K., Al-Obeed, R. and Elsabagh, A. 2021.The effect of salicylic acid on the performances of salt stressed strawberry plants, enzymes activity, and salt tolerance index. Agronomy, 11: 775. https://doi.org/10.3390/agronomy11040775

Saadat, H. and Sedghi, M. 2021. Effect of priming and aging on physiological, biochemical traits seed common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Seed Research, 11(3): 75-89. [In Persian] https://doi.org/10.30495/jsr.2022.1945870.1228

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

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

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

Shabala, S. 2013. Learning from halophytes: Physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. Annals of Botany, 112: 1209-1221. https://doi.org/10.1093/aob/mct205

Shafi, A., Zahoor, I. and Mushtaq, U. 2019. Proline accumulation and oxidative stress: diverse roles and mechanism of tolerance and adaptation under salinity stress. Physiology and Molecular Biology of Plants, 8(30): 269-300. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8805-7_13

Sojoodi, P., Oveysi, M. and Ghooshchi. F. 2014. Effect of pretreatment salicylic acid on germination and seedling growth in sweet corn (*Zea mays* L.) under salt stress conditions. Iranian Journal of Dynamic Agriculture, 10(4): 305-316. [In Persian]

Tania, S.S., Rahaman, M., Rauf, F., Suborna, M.A., Kabir, M.H., Hoque, A. and Mohammad Saidur Rhaman, M.S. 2021. Seed priming with salicylic acid (SA) and hydrogen peroxide (H_2O_2) Improve germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress. Asian Journal of Research in Crop Science, 6(4): 60-69. https://doi.org/10.9734/ajrcs/2021/v6i430127

Tarabih, M. and El-Eryan, E. 2020. Glycine betaine and proline with thinning technique for resistance abiotic stress of Cristalina cactus pear. Pakistan Journal of Biological Sciences, 23: 68-80. https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.68.80

Teker Yıldız, M., Eda Günay, E. and Acar, O. 2024. Physiological and biochemical effects of thermo-priming on wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought and heat stresses. Düzce University Journal of Science and Technology, 1: 375-389. https://doi.org/10.29130/dubited.1213671

Van Zelm, E., Zhang, Y. and Testerink, C. 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. Annual Review of Plant Biology, 71: 403-433. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005

Waadt, R., Seller, C.A., Hsu, P.K., Takahashi, Y., Munemasa, S. and Schroeder, J.I. 2022. Plant hormone regulation of abiotic stress responses. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 23: 680-694. https://doi.org/10.1038/s41580-022-00479-6

Xia. F., Wang, X., Li, M and Mao, P. 2015. Mitochondrial structural and antioxidant system responses to aging in oat (*Avena sativa* L.) seeds with different moisture contents. Plant Physiology and Biochemistry, 94: 122-129. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.06.002

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.111]