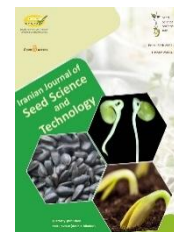




Seed
Science
Society of
Iran



Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Effect of different types of seed priming on germination characteristics and seedling growth of curly dock (*Romex crispus* L.) under salinity stress

Mohammad Behzad Amiri^{1*}, Atefeh Mirzaeian², Mohammad Kafi³

1. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Gonabad, Gonabad, Iran.
2. Ph.D. student of Plants Physiology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Article Information

Received: 09 Jan. 2024
Revised: 01 Mar. 2025
Accepted: 03 Mar. 2025

Keywords:

Allometric coefficient,
Alternative fodder,
Hormopriming, Nanopriming,
Synchronization index.

Corresponding Author:

amiri@gonabad.ac.ir



Abstract

In recent years, supplying of suitable fodder in the conditions of environmental stress has been the concern of many researchers and producers, and the investigation of plants such as curly dock that can produce desirable biomass as alternative fodder has been considered. This study evaluated the effects of salinity stress and seed priming on the germination and seedling growth of curly dock. A factorial experiment based on a Completely Randomized Design (CRD) with three replications was conducted in 2023. Factors included five salinity levels (0, 3, 6, 9, and 12 dS.m⁻¹) and four priming treatments: SiO₂ nanopriming, salicylic acid (SA) hormopriming, KNO₃ halopriming, and hydropriming (control). Results indicated that the highest germination percentages occurred with SiO₂ (94%) and SA (92.33%) under non-saline conditions, while the lowest (20.66%) was recorded at 12 dS.m⁻¹ with hydropriming. KNO₃ halopriming at 6 dS.m⁻¹ yielded the highest synchronization index (1.81). High salinity levels negatively impacted seedling vigor across all treatments. The maximum allometric coefficient (1.56) was observed with SiO₂ nanopriming under non-saline conditions. Notably, at 12 dS.m⁻¹, SA hormopriming increased radicle and plumule dry weights by 87% and 92%, respectively, compared to the control, and significantly mitigated the negative effects of extreme salinity on total biomass. Overall, seed priming, particularly with SiO₂ nanoparticles and salicylic acid, effectively alleviates salinity stress and enhances the germination and early growth of curly dock, making it a viable option for fodder production in saline environments.

How to cite this paper: Amiri, M.B., Mirzaeian, A., & Kafi, M. (2026). Effect of different types of seed priming on germination characteristics and seedling growth of curly dock (*Romex crispus* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15(1), 87-103. <https://doi.org/10.22092/IJSST.2025.364584.1512>



© 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**

Salinity stress is a significant abiotic factor that restricts agricultural output, especially in arid and semi-arid zones. Seed germination and seedling establishment, which are the most vulnerable growth phases in many plants, are negatively affected by osmotic stress, ionic imbalance, and oxidative damage. Considering the rising demand for sustainable fodder production under difficult environmental circumstances, there is a crucial requirement to find plant species that can withstand these conditions, as well as efficient agricultural techniques to lessen the effects of stress. Curly dock (*Rumex crispus* L.), a perennial wild plant prevalent in Iran and similar climates, has demonstrated potential. Its value is recognized not only in medicine but also as a possible alternative feed source, given its advantageous biomass production and nutritional content (including vitamins, minerals, and essential oils). However, the plant's germination and initial growth responses to salinity stress, as well as strategies to facilitate its establishment, have received scant attention.

Seed priming is a proven, economical pre-sowing method that promotes germination rate, uniformity, and stress tolerance by instigating physiological and biochemical alterations within seeds. The aim of this study was to address the deficit in understanding regarding the potential of curly dock as an alternative fodder in saline conditions, while evaluating the comparative efficacy of distinct seed priming strategies (SiO_2 nanopriming, SA hormoprining, KNO_3 haloprining, and hydropriming) in mitigating the adverse effects of salinity stress on its germination and seedling growth attributes.

Materials and Methods

The study was conducted in 2023 at the Crop Physiology Laboratory, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, employing a factorial experiment and a completely randomized design (CRD) with three replications. The experiment's factors were comprised of five salinity levels: control (0 dS.m^{-1}) and four saline concentrations (3, 6, 9, and 12 dS.m^{-1} NaCl), alongside four seed priming treatments: 1) Nanoprining with Silicon dioxide (SiO_2), 2) Hormoprining with Salicylic Acid (SA), 3) Haloprining with Potassium Nitrate (KNO_3), and 4) Hydropriming (distilled water) as the control priming treatment. The seeds of curly dock were surface-sterilized, followed by priming through a 24-hour soaking in their respective solutions. Subsequently, twenty-five seeds from each treatment were placed into sterilized Petri dishes, each containing filter paper and 5 ml of the corresponding saline or non-saline solutions, and then incubated in a germinator at 25°C . The number of germinated seeds (distinguished by the emergence of the radicle) was recorded daily for a fortnight.

The parameters assessed comprised germination percentage (GP), germination rate (GR), mean germination time (MGT), synchronization index (SI), seedling vigor index I (SVI-I), and seedling vigor index

II (SVI-II). Following the germination period, typical seedlings were chosen to assess radicle and plumule lengths. Subsequently, seedlings underwent oven-drying to ascertain radicle dry weight (RDW), plumule dry weight (PDW), total biomass (TB), radicle-to-plumule dry weight ratio (R/P), and the allometric coefficient (radicle length/plumule length). Data analysis was performed using SAS software (Ver. 9.4). Analysis of variance (ANOVA) was conducted, and mean comparisons were carried out using Duncan's multiple range test at the 5% probability level ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The interaction between salinity and priming treatments significantly affected the majority of the measured traits, indicating the complex interplay between the magnitude of stress and the effectiveness of priming.

Regarding germination indices, the highest percentages (94% and 92.33%) were documented under non-saline conditions with SiO_2 nanopriming and SA hormoprining, respectively. Conversely, the lowest germination percentage (20.66%) was observed with the combination of hydropriming and the highest salinity level (12 dS.m^{-1}). It is interesting that salinity stress increased the germination rate, with the highest GR (8.20 seeds/day) observed at 12 dS.m^{-1} , indicating a stress-avoidance mechanism where curly dock accelerates germination under high salt conditions. However, this resulted in decreased germination uniformity, indicated by the lowest synchronization index (0.50) at 12 dS.m^{-1} . Treatment with KNO_3 at 6 dS.m^{-1} resulted in the greatest SI (1.81), suggesting more coordinated germination under mild stress. The study revealed that seedling length and vigor were adversely affected by salinity stress. At the most severe salinity level of 12 dS.m^{-1} , SA hormoprining substantially increased RDW and PDW by 87% and 92%, respectively, in comparison to the hydroprimed control. This underscores SA's critical role in diminishing ionic and oxidative harm, which in turn promotes improved resource distribution and development, particularly under conditions of considerable stress. Priming improved the seedling vigor indices, which combined germination and growth parameters. The greatest SVI-I was observed with SiO_2 nanopriming under non-saline conditions. Although high salinity significantly decreased SVI-II, SA hormoprining and hydropriming increased this index compared to other primings at 9 dS.m^{-1} . Under SiO_2 nanopriming, the allometric coefficient was at its maximum (1.56) without salinity. This result suggests a greater emphasis on root growth relative to shoot growth, which may be beneficial for the uptake of water and nutrients. Salinity and priming also affected the dry weight ratio of the radicle to the plumule (R/P). In general, a higher salinity level increased the R/P ratio. Priming treatments like KNO_3 at 6 dS.m^{-1} and SiO_2 at 9 dS.m^{-1} additionally enhanced it compared to the control at the same salinity level, suggesting a shift in partitioning induced by priming that favors root

development under stress. The improved performance of SiO₂ nanopriming, specifically under non-saline and low-stress conditions, is believed to be a result of silicon's effect on boosting metabolic activity, reinforcing cell walls, and possibly influencing the expression of stress-related genes. Under high salinity, the pronounced effectiveness of SA hormoprimering corresponds to its known role as a central signaling molecule in systemic acquired resistance, thus promoting the activation of antioxidant defense systems and safeguarding cellular machinery. The use of KNO₃ haloprimering probably improved osmotic adjustment, as well as providing essential nutrients (K⁺ and NO₃⁻) that are critical for enzyme activation and ionic balance maintenance under saline conditions. The concept of "stress memory" or "acquired tolerance" is germane, because priming essentially pre-conditions the seeds, promoting a more accelerated and efficient physiological response in the event of repeated salinity stress.

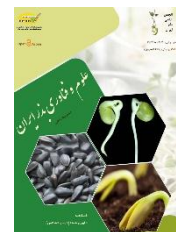
Conclusion

The results of this study clearly show that salinity stress has a considerable negative impact on the germination and early seedling growth of curly dock. However, seed priming, especially with salicylic acid (hormoprimering) and silicon dioxide nanoparticles (nanoprimering), offers a functional and enduring method for reducing these

negative consequences. Under severe salinity stress (12 dS.m⁻¹), Salicylic Acid was most effective, dramatically improving seedling dry weight and biomass, thus is the recommended priming method for curly dock establishment in highly saline soils. SiO₂ significantly improved root development (demonstrated by a higher allometric coefficient) and seedling vigor, proving beneficial in non-saline and moderately saline environments. KNO₃ haloprimering significantly enhanced germination synchronization and proved particularly effective in boosting total biomass under moderate salinity levels (6-9 dS.m⁻¹). In summary, although curly dock demonstrates inherent tolerance mechanisms such as accelerated germination under salt stress, its establishment and productivity in saline environments may be significantly improved through customized seed priming. Utilization of these priming techniques, in particular SA and SiO₂, allows for a practical, low-input approach to grow curly dock as a resilient alternative fodder crop, supporting sustainable livestock production in saline environments. Subsequent research should concentrate on the field validation of these priming techniques and investigate their sustained impact on the forage yield and quality of curly dock.

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات بذر و نهال

نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

اثر انواع مختلف پرایمینگ بذر بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ترشک (*Rumex crispus* L.) در شرایط تنش شوریمحمد بهزاد امیری^{۱*}، عاطفه میرزائیان^۲، محمد کافی^۳

۱. دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.

۲. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳. استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

واژه‌های کلیدی:

شاخص همسان‌سازی،

ضریب رشد ناموزون،

علوفه جایگزین،

نانوپرایمینگ،

هورموپرایمینگ.

نویسنده مسئول:

amiri@gonabad.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر، تأمین علوفه مناسب در شرایط تنش‌های محیطی دغدغه بسیاری از محققان و تولیدکنندگان بوده و بررسی گیاهانی نظیر ترشک که بتوانند زیست‌توده مطلوبی به‌عنوان علوفه جایگزین تولید کنند مورد توجه قرار گرفته است. نقش مثبت پرایمینگ بذر در کاهش اثرات منفی تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان مختلف به اثبات رسیده است. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و انواع پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ترشک، آزمایشی در سال ۱۴۰۲ در دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح تنش شوری (۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و شاهد (عدم‌اعمال تنش شوری) و پرایمینگ مواد مختلف شامل نانودی‌اکسید سیلیسیم، اسید سالیسیلیک، نترات پتاسیم و آب بود. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای عدم‌اعمال شوری و پرایم بذر با دی‌اکسید سیلیسیم (۹۴ درصد) و اسید سالیسیلیک (۹۲/۳۳ درصد) حاصل شد و کمترین درصد جوانه‌زنی متعلق به تیمار اعمال شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و هیدروپرایمینگ (۲۰/۶۶ درصد) بود. استفاده از هالوپرایمینگ بذر با نترات پتاسیم در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به بروز بیشترین شاخص همسان‌سازی (۱/۸۱) شد و در کلیه پرایمینگ‌های مورد مطالعه، اعمال مقادیر شوری زیاد بر شاخص بنیه گیاهچه اثرات منفی بر جای گذاشت. بالاترین ضریب رشد ناموزون (۱/۵۶) در تیمار نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم و در شرایط عدم‌اعمال تنش شوری بدست آمد. در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک به‌ترتیب افزایش ۸۷ و ۹۲ درصدی وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه را نسبت به تیمار شاهد سبب شد. خیساندن ۲۴ ساعته بذر در محلول هورمونی اسید سالیسیلیک منجر به تخفیف اثرات منفی بالاترین سطح تنش شوری (شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر زیست‌توده کل گردید. به‌طور کلی با توجه به یافته‌های این پژوهش، اگر چه بیشترین درصد جوانه‌زنی در شرایط عدم وجود تنش شوری بدست آمد، به‌نظر می‌رسد با کاربرد انواع مختلف پرایمینگ به‌ویژه نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم و هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری می‌توان ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ترشک را افزایش داد.

نحوه استناد به این مقاله:

Amiri, M.B., Mirzaeian, A., & Kafi, M. (2026). Effect of different types of seed priming on germination characteristics and seedling growth of curly dock (*Rumex crispus* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15(1), 87-103. <https://doi.org/10.22092/IJSST.2025.364584.1512>

مقدمه

تنش شوری به عنوان یکی از عمده ترین تنش های غیرزنده تأثیر منفی بر میزان تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. حساس ترین مرحله رشدی اکثر گیاهان به شوری مرحله جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه می باشد. تنش شوری باعث تغییرات نامطلوب فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بذرهای جوانه زده شده و می تواند از طریق اثر بر تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو و همچنین با برهم زدن تعادل یونی، جوانه زنی مطلوب بذر و استقرار گیاهچه را دچار اختلال کند (Rajabi Dehnavi et al., 2020). غلظت نمک در محیط، به طور مستقیم بر جوانه زنی بذر اثر گذاشته و با به تعویق انداختن جوانه زنی مؤلفه های جوانه زنی و رشد گیاهچه را تحت تأثیر قرار می دهد. غلظت های کمتر از حد بهینه نمک باعث خواب بذر می شود و غلظت های بالاتر از حد مطلوب فرآیند جوانه زنی را مختل می کند و درصد جوانه زنی به دلیل اختلال در آبنوشی بذر کاهش می دهد (Ding et al., 2020).

فعالیت گیاه با جوانه زنی بذر آغاز می شود و جوانه زنی عامل بقا و حفظ گونه های گیاهی است (Manjaiah et al., 2019). استقرار مطلوب گیاه در گرو جوانه زنی سریع و یکنواخت بذر است، در حالی که جوانه زنی ضعیف گیاهان را نسبت به تنش های محیطی آسیب پذیر می کند (Acharya et al., 2019). در نتیجه، انجام پژوهش های کاربردی در خصوص جوانه زنی و سپس رشد بذرهای پرایم شده ارزش زیادی دارد. پرایمینگ بذر یک رویکرد کارآمد است که منجر به جوانه زنی بهتر بذر و در نتیجه افزایش رشد گیاه می شود. در مطالعات متعددی نشان داده شده است که پیش تیمار بذر زمان سبز شدن گیاهچه را به حداقل رسانده و گیاهان قوی تری تولید می کند که به تنش های مختلف زنده و غیرزنده متحمل تر هستند (Mehmood et al., 2021).

پرایمینگ بذر با نیترات پتاسیم باعث فعال کردن سیستم آنتی اکسیدانی و تجمع پرولین شده و تحمل به تنش شوری را بهبود می بخشد (Joshi et al., 2013). به طور کلی، در طول جوانه زنی تحت تنش شوری، میزان پروتئین، اسیدهای آمینه آزاد و قندهای محلول در بذرهای تیمار شده با نیترات پتاسیم افزایش را می یابد. علاوه بر این، کایا و هیگز (Kaya & Higgs, 2003)

نشان دادند که تأمین نیترات پتاسیم نقش کلیدی در تنظیم فشار اسمزی و فعال سازی آنزیم ها دارد.

نانوپرایمینگ بذر یکی از مهم ترین راهکارهایی است که با ایفای نقش مثبت در متابولیسم بذر و مسیرهای سیگنال دهی، جوانه زنی، استقرار و چرخه زندگی گیاهان را تحت تأثیر قرار می دهد (An et al., 2022; Mahakham et al., 2017; Ye et al., 2020). سیلیکون (Si) به عنوان یکی از عناصر غیر ضروری برای گیاهان عالی شناخته شده است. نقش مفید سیلیکون بر رشد و نمو و تحمل به تنش برخی گیاهان از جمله شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) (Beheshti & Khorasaninejad, 2023)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Danaee & Abdossi, 2021) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) (Veisi et al., 2023) گزارش شده است. سیلیکون به عنوان یک عامل محافظتی در بهبود تنش های غیرزیستی مختلف عمل کرده (Rastogi et al., 2021) و هموستازی هورمونی را حفظ، پتانسیل اسمزی را متعادل نموده و با کاهش تولید گونه های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنتی اکسیدان ها، از آسیب های ناشی از تنش های غیرزنده مانند شوری، خشکی و دمای بالا جلوگیری می کند (Hameed et al., 2021). اگر چه سیلیکون به صورت توده ای و به وفور در خاک وجود دارد، گیاهان فاقد توانایی جذب سیلیکون از خاک هستند (Souri et al., 2021)؛ بنابراین تلاش برای جذب سیلیکون توسط گیاهان به شکل نانو گزینه بهتری محسوب می شود.

مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد اسید سالیسیلیک (۲- هیدروکسی بنزوئیک اسید) می تواند علائم سمیت ناشی از تنش شوری را در گونه های گیاهی کاهش دهد (Anaya et al., 2018; Jayakannan et al., 2015; Joseph & Jinin, 2017). اسید سالیسیلیک به عنوان یک فنول طبیعی، تنظیم کننده رشد گیاه است و نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارد. این اسید در فعالیت های متابولیسمی گیاه نقش داشته و تحمل گیاه در برابر تنش های غیرزیستی مختلف مانند شوری، خشکی و دماهای شدید را بهبود می بخشد (Bijanazadeh et al., 2019; Maghsoudi et al., 2019).

ترشک با نام علمی (*Romex crispus* L.) گیاهی است چند ساله که به طور وحشی (بومی) در بیشتر مناطق اروپا، شمال آفریقا

پتری‌دیش‌ها در ژرمناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (Lashkari et al., 2014) قرار داده شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت یک‌بار و به مدت ۱۴ روز (Lashkari et al., 2014) انجام گرفت. مبنای جوانه‌زنی بذرهای خروج ریشه‌چه از پوسته بذر و قابل رؤیت بودن آن با چشم غیرمسلح بود (Adam et al., 2007) و در این پژوهش صفات مورد مطالعه تنها روی گیاهچه‌های عادی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با ثابت شدن درصد جوانه‌زنی خصوصیات رشدی گیاهچه نظیر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری و سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با درجه حرارت ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از آن با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک ده‌هزارم گرم توزین شدند. درصد جوانه‌زنی از نسبت درصد تعداد بذرهای جوانه زده پس از ۱۴ روز به تعداد کل بذرهای قرار داده شده در هر پتری‌دیش بدست آمد. برای محاسبه سرعت (RS) و میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT)، شاخص همسان‌سازی (SI)، شاخص بنیه گیاهچه ۱ (SVI1) و شاخص بنیه گیاهچه ۲ (SVI2) به ترتیب از معادلات (۱)، (۲)، (۳) و (۴) و (۵) استفاده شد.

$$RS = \sum_{i=1}^n \frac{Si}{Di} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن RS سرعت جوانه‌زنی، Si تعداد بذرهای جوانه زده در هر شمارش، Di تعداد روز تا شمارش n ام و n دفعات شمارش می‌باشند (Salehzadeh et al., 2009).

$$MGT = \frac{\sum(n_1 T_1 + n_2 T_2 + \dots + n_k T_k)}{\sum(n_1 + n_2 + \dots + n_k)} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن MGT میانگین زمان جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای تازه جوانه زده در هر روز و T روزهای پس از شروع جوانه‌زنی می‌باشند (Damalas et al., 2019).

$$SI = - \sum fi \log_2 fi \quad \text{معادله (۳)}$$

SI شاخص همسان‌سازی است که نشان‌دهنده هماهنگی در جوانه‌زنی می‌باشد. Fi نوسان جوانه‌زنی نسبی است و از معادله (۳-۱) زیر محاسبه می‌گردد (Ranal & Santana, 2006).

و آسیا از جمله ایران رشد می‌کند. ترشک علاوه بر اینکه به عنوان یک گیاه دارویی در سطح جهان شناخته شده است، از برگ‌های جوان و خام آن به صورت سبزی یا سالاد می‌توان استفاده کرد (Idris et al., 2017). ادریس و همکاران (Idris et al., 2019) نشان دادند که محتوای ویتامین‌ها، مواد معدنی و اسانس‌های موجود در ریشه و برگ‌های ترشک یک جیره مکمل و مناسب برای دام محسوب می‌شود. خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد کوکسیدی، ضد التهابی، ضدباکتریایی و ضدانگلی اندام‌های مختلف ترشک حاکی از اهمیت این گیاه ارزشمند برای تغذیه انسان و دام است (Matache et al., 2023).

با توجه به ضرورت انجام کارهای پژوهشی در گیاهان متحمل نظیر ترشک که قابلیت تولید زیست‌توده مطلوب در شرایط نامساعد محیطی را داشته و می‌تواند به عنوان علوفه جایگزین گیاهان پرتوقع مطرح شوند و از آنجایی که مطالعات چندانی در خصوص بهبود مقاومت بذر این گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده انجام نشده، این پژوهش با هدف بررسی اثر مقادیر مختلف شوری و انواع پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشدی گیاهچه ترشک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

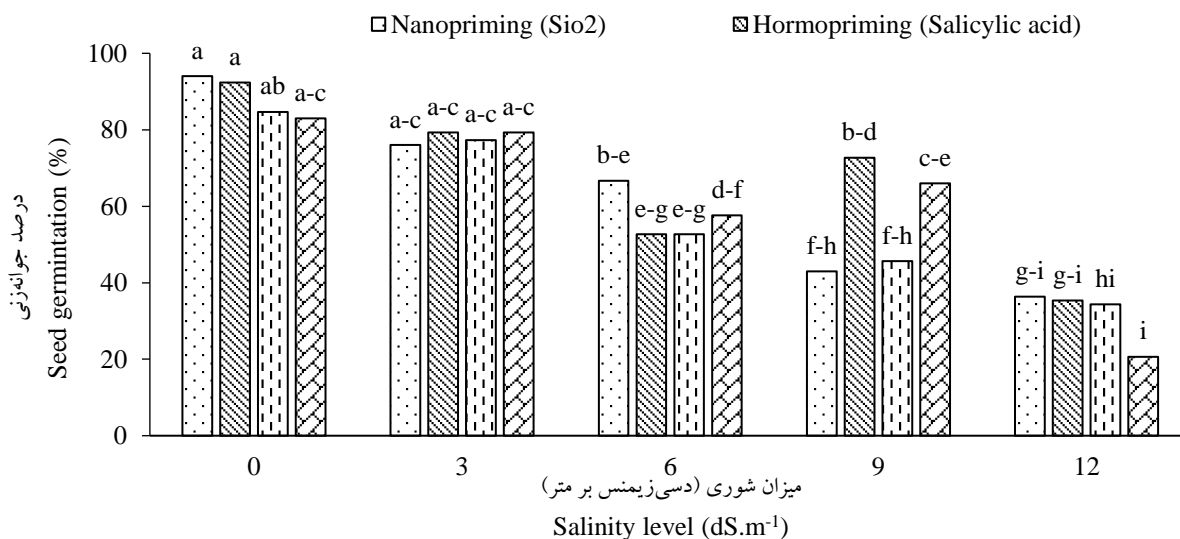
این پژوهش در تیرماه سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل چهار سطح تنش شوری (۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر مترمربع) و شاهد (عدم اعمال تنش شوری) و پرایمینگ مواد مختلف شامل نانودی‌اکسید سیلیسیم، اسید سالیسیلیک، نترات پتاسیم و آب بود.

قبل از شروع آزمایش، پتری‌دیش‌هایی به قطر هشت سانتی‌متر و کاغذ صافی‌های واتمن ۴۰ در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت ضدعفونی شدند. بذرهای آزمایشی از منطقه زشک مشهد تهیه و در محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت ۴۵ ثانیه ضدعفونی شده و سپس چندین بار با آب مقطر شستشو شدند. در هر پتری‌دیش ۲۵ عدد بذر از تیمار مورد نظر قرار گرفت و مقدار ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه و سپس

نتایج

درصد و سرعت جوانه‌زنی

اثر متقابل مقادیر شوری و مواد مختلف پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمارهای عدم‌اعمال شوری و پرایم بذور با دی‌اکسید سیلیسیم (۹۴ درصد) و اسید سالیسیلیک (۹۲/۳۳ درصد) حاصل شد و کمترین درصد جوانه‌زنی متعلق به تیمار اعمال شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و هیدروپرایمینگ (۲۰/۶۶ درصد) بود. در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر درصد جوانه‌زنی بذرها پرایمینگ شده با اسید سالیسیلیک به مراتب بیشتر از مقدار جوانه‌زنی بذرها پرایمینگ شده با دی‌اکسید سیلیسیم و نیترات پتاسیم بود، ولی در این سطح شوری از نظر درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری بین هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک و هیدروپرایمینگ وجود نداشت (شکل ۱).



شکل ۱- درصد جوانه‌زنی ترشک تحت تأثیر مقادیر مختلف شوری و انواع پرایمینگ در هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

Figure 1- Germination percentage of curly dock affected by different levels of salinity and types of priming In each trait, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$)

آمد. اعمال تنش شوری منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور شد و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر دارای بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی (۲۰/۸۷ بذور در روز) بود و مقادیر ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس

بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۲)، بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای هالوپرایمینگ نیترات پتاسیم (۶/۳۴ بذور در روز) و هیدروپرایمینگ (۶/۱۹ بذور در روز) بدست

$$Fi = \frac{ni}{\sum_{i=1}^k ni} \quad \text{معادله (۱-۳)}$$

که در آن ni تعداد بذرهاى جوانه زده در روز i و k آخرین روز شمارش جوانه‌زنی می‌باشد (Ranal and Santana, 2006).

$$\text{معادله (۴)}$$

$$\text{وزن گیاهچه} \times \text{قابلیت جوانه‌زنی یا درصد جوانه‌زنی} = \text{SVI1}$$

که در آن SVI1 شاخص بنیه گیاهچه ۱ می‌باشد (Mahmoodzadeh et al., 2011).

$$\text{معادله (۵)}$$

$$\text{طول گیاهچه} \times \text{قابلیت جوانه‌زنی یا درصد جوانه‌زنی} = \text{SVI2}$$

که در آن SVI2 شاخص بنیه گیاهچه ۲ می‌باشد (Abdul-Baki et al., 1973).

تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4، MS Excel Ver. 11 و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

بر متر شوری نیز سرعت جوانه‌زنی را به ترتیب ۲۴، ۴۰ و ۵۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ترشک تحت تأثیر انواع مختلف پرایمینگ بذر در شرایط تنش شوری

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) of some germination characteristics and seedling growth of curly dock affected different types of seed priming in conditions of salinity stress

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	شاخص همسان‌سازی Synchronization index	شاخص بینه گیاهچه ۱ Seedling vigour 1	شاخص بینه گیاهچه ۲ Seedling vigour 2
پرایمینگ Priming	3	151.52 ^{ns}	1.16 ^{**}	0.86 ^{ns}	0.03 ^{ns}	5622.51 [*]	2766.32 ^{ns}
شوری Salinity	4	5774.68 ^{**}	41.46 ^{**}	1.05 [*]	3.12 ^{**}	213518.87 ^{**}	371153.43 ^{**}
پرایمینگ×شوری Priming×Salinity	12	222.80 [*]	0.28 ^{ns}	0.91 [*]	0.05 [*]	5422.65 ^{**}	8441.89 [*]
خطای آزمایشی Experimental error	40	91.85	0.16	0.36	0.02	1323.80	3854.57
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	15.33	6.71	22.22	11.51	14.94	16.01

منبع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	طول ریشه چه Radicle length	طول ساقه چه Plumule length	ضریب رشد ناموزون Allometric coefficient	وزن خشک ریشه چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه چه Plumule dry weight	نسبت وزن خشک ریشه چه به ساقه چه Dry weight of radicle to plumule	زیست توده کل Total biomass
پرایمینگ Priming	3	0.42 [*]	0.17 [*]	0.17 [*]	0.0007 ^{**}	0.0012 ^{**}	0.53 ^{**}	0.14 ^{**}
شوری Salinity	4	4.95 ^{**}	1.16 ^{**}	0.90 ^{**}	0.0016 ^{**}	0.0011 ^{**}	3.45 ^{**}	0.36 ^{**}
پرایمینگ×شوری Priming×Salinity	12	0.54 ^{**}	0.06 ^{ns}	0.16 ^{**}	0.0011 ^{**}	0.0006 ^{**}	0.87 ^{**}	0.22 ^{**}
خطای آزمایشی Experimental error	40	0.11	0.06	0.04	0.000003	0.0000006	0.02	0.002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	19.66	12.45	17.07	20.74	6.73	23.00	24.87

ns, ** و * به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, ** and * are non-significant and significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع پرایمینگ و سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی ترشک

Table 2- Mean comparison of simple effect of priming types and different levels of salinity on some germination characteristics of curly dock

انواع پرایمینگ Priming types	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed.day ⁻¹)	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time (day)	شاخص همسان‌سازی Synchronization index	شاخص بینه گیاهچه ۱ Seedling vigour 1	شاخص بینه گیاهچه ۲ Seedling vigour 2
نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم Nanoprimering (SiO ₂)	63.20 ^a	5.83 ^b	2.65 ^{ab}	1.28 ^{ab}	263.17 ^a	397.15 ^a
هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک Hormoprimering (salicylic acid)	66.46 ^a	5.77 ^b	2.63 ^{ab}	1.24 ^b	256.05 ^{ab}	389.20 ^a
هالوپرایمینگ نترات پتاسیم Haloprimering (KNO ₃)	58.93 ^a	6.34 ^a	3.06 ^a	1.36 ^a	222.27 ^c	367.92 ^a
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)	61.33 ^a	6.19 ^a	2.51 ^b	1.28 ^{ab}	232.13 ^{abc}	396.09 ^a
سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity levels (dS.m ⁻¹)						
0	88.50 ^a	3.66 ^c	2.72 ^{ab}	1.54 ^b	416.56 ^a	581.96 ^a
3	78.00 ^b	4.79 ^d	2.80 ^a	1.53 ^b	321.54 ^b	502.23 ^b
6	57.41 ^c	6.08 ^c	3.07 ^a	1.80 ^a	198.71 ^c	344.89 ^c
9	56.83 ^c	7.43 ^b	2.72 ^{ab}	1.09 ^c	216.74 ^c	387.69 ^c
12	31.66 ^d	8.20 ^a	2.25 ^b	0.50 ^d	63.47 ^d	121.18 ^d

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level

میانگین زمان جوانه‌زنی و شاخص همسان‌سازی

نیترات پتاسیم و شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر (۳/۷۹ بذری) و هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۱/۳۸ بذری) بدست آمد.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی به ترتیب در تیمارهای هالوپرایمینگ

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل انواع پرایمینگ و سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی ترشک

Table 3- Mean comparison of interaction effect of priming types and different levels of salinity on some germination characteristics of curly dock

نوع پرایمینگ Priming type	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (dS.m ⁻¹)	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time (day)	شاخص همسان‌سازی Synchronization index	شاخص بینه گیاهچه ۱ Seedling vigour 1	شاخص بینه گیاهچه ۲ Seedling vigour 2
نانوپرایمینگ Nanopriming	0	2.78 ^{abcde}	1.25 ^{de}	492.03 ^a	655.00 ^a
هورموپرایمینگ Hormopriming		2.47 ^{bcdef}	1.47 ^{cd}	417.89 ^b	571.33 ^{ab}
هالوپرایمینگ Halopriming		2.77 ^{abcde}	1.70 ^{abc}	378.67 ^{bc}	556.63 ^{abc}
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)		2.85 ^{abcde}	1.71 ^{abc}	377.66 ^{bc}	544.87 ^{abc}
نانوپرایمینگ Nanopriming		3	2.64 ^{abcde}	1.74 ^{abc}	349.84 ^{cd}
هورموپرایمینگ Hormopriming	3.39 ^{abc}		1.51 ^{bcd}	343.44 ^{cd}	502.00 ^{bc}
هالوپرایمینگ Halopriming	2.45 ^{bcdef}		1.46 ^{cd}	317.51 ^{cde}	507.93 ^{bc}
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)	2.73 ^{abcde}		1.42 ^d	275.36 ^{efg}	482.17 ^{bcd}
نانوپرایمینگ Nanopriming	6		2.88 ^{abcde}	1.89 ^a	210.56 ^{ghij}
هورموپرایمینگ Hormopriming		3.57 ^{ab}	1.76 ^{ab}	187.94 ^{hij}	363.00 ^{ef}
هالوپرایمینگ Halopriming		3.04 ^{abcde}	1.81 ^a	170.22 ^{ijk}	304.33 ^f
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)		2.79 ^{abcde}	1.72 ^{abc}	226.10 ^{fghi}	377.60 ^{def}
نانوپرایمینگ Nanopriming		9	2.76 ^{abcde}	1.04 ^e	155.69 ^{jk}
هورموپرایمینگ Hormopriming	2.32 ^{cdef}		1.01 ^e	287.43 ^{def}	458.87 ^{bcd}
هالوپرایمینگ Halopriming	3.79 ^a		1.26 ^{de}	182.40 ^{hij}	322.00 ^f
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)	2.00 ^{ef}		1.04 ^e	241.44 ^{fgh}	450.67 ^{cde}
نانوپرایمینگ Nanopriming	12		2.22 ^{cdef}	0.45 ^f	107.73 ^{kl}
هورموپرایمینگ Hormopriming		1.38 ^f	0.47 ^f	43.53 ^m	50.80 ^g
هالوپرایمینگ Halopriming		3.24 ^{abcd}	0.57 ^f	62.53 ^{lm}	148.70 ^g
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)		2.16 ^{def}	0.51 ^f	40.08 ^m	125.17 ^g

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و ضریب رشد ناموزون

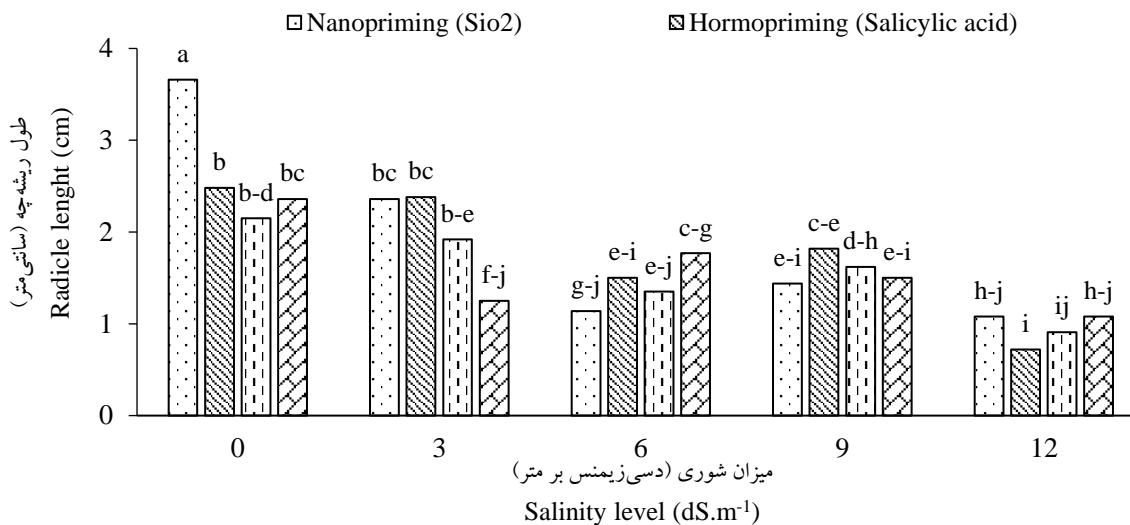
نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم افزایش ۱۸ درصدی طول ریشه‌چه را نسبت به تیمار شاهد در پی داشت و طول ریشه‌چه بذرهای نانوپرایمینگ شده به مراتب بیشتر از طول ریشه‌چه بذرهای هالوپرایمینگ شده با نیترا تپتاسیم بود (جدول ۴). بیشترین طول ساقه‌چه (۲/۱۰ سانتی‌متر) در شرایط هیدروپرایمینگ بدست آمد که البته از این نظر بین تیمارهای هیدروپرایمینگ، نانوپرایمینگ و هالوپرایمینگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). اعمال تنش شوری دارای اثر منفی بر طول ریشه‌چه بود، به طوری که هر یک از سطوح شوری ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۲۶، ۴۶، ۴۰ و ۶۴ درصدی طول ریشه‌چه نسبت به تیمار شاهد را سبب شدند (جدول ۴). اگر چه بین مقادیر پایین و متوسط شوری (سطوح شوری ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) از نظر طول ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱)، ولی طول ساقه‌چه تحت تأثیر شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که طول ساقه‌چه در این سطح شوری به ترتیب ۳۲، ۲۷ و ۳۳ درصد کمتر از طول ساقه‌چه در سطوح شوری ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین طول ریشه‌چه (۳/۶۶ سانتی‌متر) زمانی حاصل شد که از نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم در شرایط عدم تنش شوری استفاده گردید و در کلیه پرایمینگ‌های مورد مطالعه با افزایش شوری از مقدار طول ریشه‌چه کاسته شد.

بالاترین ضریب رشد ناموزون (۱/۵۶) در تیمار نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم و در شرایط عدم اعمال تنش شوری حاصل شد و در شرایط شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر نیز بذرهای پرایم شده با دی‌اکسید سیلیسیم از ضریب رشد ناموزون بیشتری نسبت به تیمار شاهد برخوردار بودند (جدول ۵). در شوری‌های متوسط و زیاد (سطوح شوری ۶، ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) تفاوت بین پرایمینگ‌های مورد مطالعه از نظر ضریب رشد ناموزون معنی‌دار نبود، ولی در این سطوح شوری از تأثیرگذاری مثبت پرایمینگ بذر بر میزان ضریب رشد ناموزون نسبت به سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر و شاهد کاسته شد (جدول ۵).

استفاده از هالوپرایمینگ بذر با نیترا تپتاسیم در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به بروز بیشترین شاخص همسان‌سازی (۱/۸۱) شد و فارغ از نوع ماده پرایمینگ استفاده شده کمترین میزان شاخص همسان‌سازی متعلق به تیمار شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۳). با توجه به نتایج جدول ۳، در شرایط شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر نانوپرایمینگ بذر با دی‌اکسید سیلیسیم شاخص همسان‌سازی را در مقایسه با هیدروپرایمینگ بذور به طور معنی‌داری افزایش داد.

شاخص بنیه گیاهچه ۱ و ۲

اگر چه هالوپرایمینگ بذر با نیترا تپتاسیم تولید کمترین شاخص بنیه گیاهچه ۱ (۲۲۲/۲۷) را سبب شد، ولی از نظر شاخص بنیه گیاهچه ۲ بین انواع مختلف پرایمینگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). بیشترین میزان شاخص بنیه گیاهچه ۱ (۴۹۲/۰۳) در تیمار نانوپرایمینگ بذر با دی‌اکسید سیلیسیم بدست آمد و در کلیه سطوح شوری مورد مطالعه بذور پرایم شده با دی‌اکسید سیلیسیم از شاخص بنیه گیاهچه ۱ بیشتری نسبت به بذور تحت تیمار هیدروپرایمینگ (شاهد) برخوردار بودند (جدول ۳). کمترین میزان شاخص بنیه گیاهچه ۱ در بالاترین سطح شوری مورد مطالعه (شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و در تیمار هیدروپرایمینگ مشاهده شد که البته از این نظر بین تیمار هیدروپرایمینگ و تیمارهای هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک و هالوپرایمینگ نیترا تپتاسیم در این سطح شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در کلیه پرایمینگ‌های مورد مطالعه، اعمال مقادیر شوری زیاد بر شاخص بنیه گیاهچه ۲ اثرات منفی بر جای گذاشت، به طوری که شاخص بنیه گیاهچه ۲ به ویژه در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به مراتب کمتر از میزان این صفت در سایر سطوح شوری بود (جدول ۳). همچنین نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر خیساندن بذور به مدت ۲۴ ساعت در محلول اسید سالیسیلیک و یا آب شاخص بنیه گیاهچه ۲ را در مقایسه با نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم و هالوپرایمینگ نیترا تپتاسیم به طور معنی‌داری بهبود بخشید (جدول ۳).



شکل ۲- طول ریشه‌چه ترشک تحت تأثیر مقادیر مختلف شوری و انواع پرایمینگ

Figure 2- Radicle length of curly dock affected by different amounts of salinity and types of priming
در هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند

In each trait, Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع پرایمینگ و سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاهچه ترشک

Table 4- Mean comparison of simple effect of priming types and different levels of salinity on some seedling growth characteristics of curly dock

انواع پرایمینگ Priming types	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقچه Plumule length (cm)	ضریب رشد ناموزون Allometric coefficient	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (g)	وزن خشک ساقچه Plumule dry weight (g)	نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقچه Dry weight of radicle to plumule	زیست‌توده کل Total biomass (g)
نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم Nanopriming (SiO ₂)	1.94 ^a	2.08 ^a	1.29 ^{ab}	0.0028 ^c	0.0049 ^c	0.71 ^b	0.1521 ^c
هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک Hormopriming (salicylic acid)	1.78 ^{ab}	1.86 ^b	1.16 ^b	0.0145 ^b	0.0167 ^b	0.54 ^c	0.2579 ^b
هالوپرایمینگ نترات پتاسیم Halopriming (KNO ₃)	1.59 ^b	2.01 ^{ab}	1.31 ^{ab}	0.0162 ^a	0.0230 ^a	0.56 ^c	0.3000 ^a
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)	1.59 ^b	2.10 ^a	1.42 ^a	0.0039 ^c	0.0040 ^d	0.95 ^a	0.0819 ^d
سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity levels (dS.m ⁻¹)							
0	2.66 ^a	2.22 ^a	0.88 ^c	0.0006 ^c	0.0064 ^c	0.11 ^e	0.2463 ^b
3	1.98 ^b	2.15 ^a	1.17 ^b	0.0002 ^c	0.0026 ^d	0.26 ^d	0.0195 ^e
6	1.44 ^c	2.02 ^a	1.46 ^a	0.0018 ^c	0.0067 ^c	0.61 ^c	0.0734 ^d
9	1.59 ^c	2.20 ^a	1.41 ^a	0.0241 ^a	0.0199 ^b	1.37 ^a	0.4682 ^a
12	0.95 ^d	1.47 ^b	1.56 ^a	0.0201 ^b	0.0252 ^a	1.10 ^b	0.1823 ^c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل انواع پرایمینگ و سطوح مختلف شوری بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاهچه ترشک

Table 5- Mean comparison of interaction effect of priming types and different levels of salinity on some seedling growth characteristics of curly dock

نوع پرایمینگ Priming type	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (dS.m ⁻¹)	ضریب رشد ناموزون Allometric coefficient	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (g)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (g)	نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه dry weight of radicle to plumule	زیست‌توده کل Total biomass (g)
نانوپرایمینگ Nanoprimering	0	1.56 ^a	0.0003 ^g	0.0064 ^{gh}	0.05 ^e	0.27 ^d
هورموپرایمینگ Hormoprimering		1.19 ^{bc}	0.0012 ^{fg}	0.0044 ^{ijk}	0.29 ^{de}	0.42 ^c
هالوپرایمینگ Haloprimering		0.96 ^{bcd}	0.0004 ^g	0.0092 ^e	0.04 ^e	0.14 ^{ef}
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)		1.07 ^{bcd}	0.0004 ^g	0.0057 ^{hi}	0.07 ^e	0.13 ^{ef}
نانوپرایمینگ Nanoprimering		3	1.03 ^{bcd}	0.0002 ^g	0.0006 ^m	0.42 ^d
هورموپرایمینگ Hormoprimering	1.24 ^b		0.0003 ^g	0.0075 ^{fg}	0.04 ^e	0.02 ^g
هالوپرایمینگ Haloprimering	0.91 ^{cdef}		0.0001 ^g	0.0017 ^{lm}	0.08 ^e	0.01 ^g
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)	0.56 ^g		0.0003 ^g	0.0007 ^m	0.49 ^d	0.02 ^g
نانوپرایمینگ Nanoprimering	6		0.60 ^{fg}	0.0001 ^g	0.0085 ^{ef}	0.01 ^e
هورموپرایمینگ Hormoprimering		0.73 ^{efg}	0.0007 ^{fg}	0.0129 ^d	0.06 ^e	0.14 ^{ef}
هالوپرایمینگ Haloprimering		0.71 ^{efg}	0.0042 ^{ef}	0.0079 ^{ef}	1.37 ^b	0.03 ^g
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)		0.80 ^{defg}	0.0023 ^{efg}	0.0023 ^l	1.02 ^c	0.07 ^{fg}
نانوپرایمینگ Nanoprimering		9	0.66 ^{efg}	0.0081 ^{cd}	0.0039 ^{jk}	2.06 ^a
هورموپرایمینگ Hormoprimering	0.85 ^{defg}		0.0088 ^c	0.0079 ^{ef}	1.10 ^{bc}	0.17 ^e
هالوپرایمینگ Haloprimering	0.70 ^{efg}		0.0709 ^a	0.0604 ^a	1.17 ^{bc}	1.23 ^a
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)	0.69 ^{efg}		0.0085 ^{cd}	0.0075 ^{fg}	1.13 ^{bc}	0.10 ^{efg}
نانوپرایمینگ Nanoprimering	12		0.67 ^{efg}	0.0052 ^{de}	0.0052 ^{hij}	1.01 ^c
هورموپرایمینگ Hormoprimering		0.64 ^{fg}	0.0614 ^b	0.0508 ^b	1.21 ^{bc}	0.52 ^b
هالوپرایمینگ Haloprimering		0.65 ^{efg}	0.0058 ^{cde}	0.0407 ^c	0.14 ^e	0.06 ^{fg}
هیدروپرایمینگ (شاهد) Hydropriming (Control)		0.61 ^{fg}	0.0079 ^{cd}	0.0039 ^{jk}	2.03 ^a	0.07 ^{fg}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

بر اساس نتایج جدول ۵، بیشترین وزن خشک ریشه‌چه (۰/۰۷۰۹) گرم) و ساقه‌چه (۰/۰۶۰۴ گرم) زمانی حاصل شد که در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر از هالوپرایمینگ نترات پتاسیم

استفاده گردید. در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک به ترتیب منجر به افزایش ۸۷ و ۹۲ درصدی وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۵). کلیه پرایمینگ‌های مورد مطالعه در شرایط شوری

از اهمیت بسیاری برخوردار باشد. در مطالعات متعدد به اثبات رسیده که پرایمینگ بذر بهبود جوانه‌زنی گونه‌های مختلف زراعی را به همراه دارد که منجر به مقادیر بالاتر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها مانند شاخص جوانه‌زنی (Moreno et al., 2018)، زمان جوانه‌زنی (Alias et al., 2016)، وزن خشک گیاهچه (Farooq et al., 2019) و شاخص بنیه گیاهچه (Umair et al., 2010) می‌شود. افزون بر این، پرایمینگ می‌تواند جوانه‌زنی را به‌ویژه در شرایط نامناسب رشد بهبود داده و در بسیاری از گونه‌های گیاهی افزایش سرعت جوانه‌زنی را به همراه داشته باشد (Jish & Puthur, 2018). عظیم خان و همکاران (Khan et al., 2019) کاهش درصد جوانه‌زنی ترشک با بالاتر رفتن میزان شوری را گزارش کردند و بیان داشتند ترشک به‌عنوان یک گیاه شورزی قادر است تا در شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر نیز جوانه بزند و حتی در شوری‌های زیاد از سرعت جوانه‌زنی بیشتری برخوردار است. سرعت جوانه‌زنی بالاتر ترشک در سطوح شورتر در پژوهش هانسلین و ایگن (Hanslin & Eggen, 2005) نیز به اثبات رسیده است. شاخص همسان‌سازی کمتر که نشان‌دهنده هماهنگی بیشتر در جوانه‌زنی بذور است در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که می‌تواند دلیلی بر نمک دوست بودن ترشک باشد. دامالاس و همکاران (Damalas et al., 2019) نشان دادند با هیدروپرایمینگ تا ۲۷ درصد هماهنگی بیشتر در جوانه‌زنی بذور باقلا (*Vicia faba* L.) قابل مشاهده است.

گیاهان باید در تمام طول چرخه زندگی خود با تنش‌های مختلف کنار بیایند و «حافظه» تنش‌هایی را که قبلاً با آن‌ها مواجه شده‌اند، به‌عنوان یک مکانیسم تطبیقی حفظ کنند که این موضوع به آن‌ها کمک می‌کند تا با تنش‌های آتی سریع‌تر و کارآمدتر مواجه شوند و به این نوع تحمل به تنش گیاهان «تحمل اکتسابی» گفته می‌شود. چنین حافظه‌ای را می‌توان به‌طور مصنوعی از طریق قرار گرفتن در معرض یک عامل تنش‌زا با دوز پایین یا با افزودن ترکیبات مفید مانند سیلیکون یا نمک‌های معدنی و یا با قرار گرفتن طبیعی در معرض دوره‌های تنش مکرر القا کرد (Srivastava et al., 2021).

سریواستاوا و همکاران (Srivastava et al., 2021) عنوان کردند که پرایمینگ بذر و حافظه تنش دو روی یک سکه هستند.

۶ دسی‌زیمنس بر متر بهبود وزن خشک ساقه‌چه در مقایسه با تیمار شاهد را سبب شدند، به‌طوری که وزن خشک ساقه‌چه در هر یک از تیمارهای نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم، هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک و هالوپرایمینگ نیترات پتاسیم به ترتیب ۷۳، ۸۲ و ۷۱ درصد بیشتر میزان این صفت در تیمار شاهد بود (جدول ۵).

نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه و زیست‌توده کل

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، هالوپرایمینگ نیترات پتاسیم در شرایط شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه را در مقایسه با تیمار شاهد در همان سطح شوری به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر استفاده از پرایمینگ بذر دارای اثر منفی بر نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه بود، به‌طوری که کاربرد هر یک از تیمارهای نانوپرایمینگ، هورموپرایمینگ و هالوپرایمینگ در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب کاهش ۵۰، ۴۰ و ۹۳ درصدی نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه را نسبت به تیمار شاهد به همراه داشتند (جدول ۵).

نتایج اثرات متقابل مقادیر شوری و پرایمینگ‌های مختلف نشان داد که کاربرد هالوپرایمینگ نیترات پتاسیم در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر منجر به تولید بیشترین میزان زیست‌توده کل (۱/۲۳ گرم) شد (جدول ۵). از اثرات منفی بالاترین سطح تنش شوری (شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) بر زیست‌توده کل تحت تأثیر خیساندن ۲۴ ساعته بذور در محلول هورمونی اسید سالیسیلیک کاسته شد، به‌طوری که زیست‌توده کل در تیمار هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک ۸۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۵). پرایمینگ بذر در محلول‌های دی‌اکسید سیلیسیم و اسید سالیسیلیک در شرایط عدم اعمال تنش شوری نیز در بهبود زیست‌توده کل مؤثر بود و زیست‌توده کل را به ترتیب از افزایش ۵۲ و ۶۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد بهره‌مند ساخت (جدول ۵).

بحث

اطلاعات حاصل از این پژوهش می‌تواند برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار ترشک و احتمالاً دستیابی به عملکرد بیشتر این محصول

در هر شرایط محیطی توصیف می‌کند و معمولاً نشان‌دهنده قدرت بذر است. اگرچه عوامل ژنتیکی مانند سخت بودن بذر و ترکیب شیمیایی دانه بر مقدار بنيه بذر تأثیر می‌گذارد، شرایط رشد، بلوغ، ذخیره‌سازی و پیری بذر نیز بر بنيه بذر مؤثرند. پرایمینگ می‌تواند به تولید گیاهچه‌های با قدرت بالا کمک کند (Damalas et al., 2019). در تحقیق حاضر، بذرهاى نانو پرایم شده، از نظر شاخص بنيه گیاهچه، گیاهچه‌های قوی‌تری نسبت به بذرهاى پرایم شده با سایر تیمارها تولید کردند. نانو پرایمینگ بذر یکی از روش‌های مؤثری است که متابولیسم بذرها را از طریق مسیرهای سیگنال‌دهی تغییر می‌دهد و بر جوانه‌زنی، استقرار و چرخه زندگی گیاه تأثیر می‌گذارد. طبق آخرین تحقیقات، نانو پرایمینگ بذر می‌تواند ژن‌های مختلفی را در طول جوانه‌زنی تحریک کند، به‌ویژه آن‌هایی که به تحمل تنش گیاه نسبت داده می‌شوند (An et al., 2020). ان و همکاران (An et al., 2020) بیان داشتند با نانو پرایمینگ بذر پنبه (*Gossypium arboreum* L.) در شرایط تنش شوری، ۱۰ ژن تنظیم‌کننده هموستاز یونی و ۱۳ ژن مسیر ROS در بذرها بیان شدند که این امر منجر به تحمل تنش شوری و بهبود رشد گیاه شد. پلاکسنکووا و همکاران (Plaksenkova et al., 2020) بیان بیش از حد miRNA-156 و miRNA-159 را در بذرهاى جو (*Hordeum vulgare* L.) پرایم‌شده با نانوذرات اکسید روی نشان دادند. این microRNA ها به مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده کمک می‌کنند. ایوانی و همکاران (Ivani et al., 2018) پس از بررسی اثرات نانو پرایمینگ نانوذرات دی‌اکسید سیلیسیوم و نانوذرات نقره بر روی گیاهان شنبليله (*Trigonella foenum-graceum* L.) تحت تنش شوری گزارش کردند که این نانوذرات مکانیسم‌های مختلف دفاعی گیاه را از طریق تأثیرگذاری در فشار تورژسانس و همچنین باز یا بسته شدن روزنه‌ها فعال نموده و به تبع آن منجر به بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشدی گیاه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش مقادیر شوری در انواع پرایمینگ بذر، اکثر صفات مورد مطالعه با نقصان مواجه شدند. با توجه به مقایسه شکل‌های ۱ و ۲، اگر چه در

این محققین پیشنهاد کردند که پرایمینگ یک تنش خفیف در داخل بذر ایجاد و گیاهچه را برای مقابله با تنش‌ها به‌طور مؤثرتری نسبت به گیاهان بدون پرایم آماده می‌کند. پرایمینگ بذر گیاهان را وادار می‌نماید تا در شرایط تنش شروع به جوانه‌زنی کنند که باعث ایجاد حافظه تنش در بذرها می‌شود (Hernandez-Apaolaza, 2022).

کاربرد نیترا تپتاسیم و اسید سالیسیلیک سبب بهبود خصوصیات جوانه‌زنی برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط شوری شد (Ali et al., 2023). بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط شوری با پرایمینگ بذر در قدومه (*Lobularia maritime* L.) (Zammali et al., 2022) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (Feghhenabi et al., 2020) نیز گزارش شده است. نیترا تپتاسیم به‌دلیل فعال کردن مسیر پنتوز فسفات، به‌عنوان کوفاکتور سیتوکروم‌ها و همچنین با اتصال به غشای پلاسمایی و افزایش تمایل پروتئین (گیرنده فیتوکروم) برای تبدیل به شکل فعال فیتوکروم (Pfr) منجر به بیوسنتز اسید جیبرلیک می‌شود و از این طریق بر فرآیند جوانه‌زنی تأثیرگذار است (Zammali et al., 2022). نتایج این پژوهش اثر مفید نیترا تپتاسیم را به‌ویژه در حضور نمک نشان داد؛ شوری سبب افزایش پتانسیل اسمزی می‌شود و در این شرایط، وجود نیترا تپتاسیم در بذر می‌تواند منجر به تجمع قوی این کاتیون در داخل سلول‌ها شود و در نتیجه تعادل اسمزی با محیط خارجی تضمین شده و شرایط مطلوبی برای جذب و جوانه‌زنی بذرها مهیا می‌گردد. رابطه مثبت قوی بین محتوای نیترا تپتاسیم بذرها و ظرفیت جوانه‌زنی آن‌ها در قدومه نیز مشاهده شده است (Zammali et al., 2022).

پرایمینگ سیلیکونی روشی مقرون به‌صرفه و ارزان و آسان برای ارتقاء رشد و نمو، مبارزه با تنش‌های مختلف زنده و غیرزنده در گیاهان و بهبود بازیابی گیاه پس از تنش است (Hernandez-Apaolaza, 2022). اثر مثبت و چند جانبه سیلیسیوم بیشتر زمانی قابل مشاهده است که گیاه یا تحت تنش و یا در روند بهبودی پس از تنش باشد (Arafa et al., 2021; Martin-Esquinas & Hernandez-Apaolaza, 2021).

بنیه گیاهچه پتانسیل جوانه‌زنی سریع، سبز شدن یکنواخت و رشد گیاهچه‌های معمولی را تعیین و استقرار گیاهچه‌های قوی را

Alias, N. S. B., Billa, L., Muhammad, A., & Singh, A. (2016). Priming and temperature effects on germination and early seedling growth of some Brassica spp. In *III All Africa Horticultural Congress, 1225* (pp. 407-414). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1225.57>

Ali, L. G., Sabo, R., Haruna, A. (2023). Mr Potassium nitrate, Silicon dioxide and Salicylic acid Mediation Increase Seedling Growth, Biochemical Attributes and Protective Enzymes Activities of Rice (*Oryza sativa*) var. FARO44 under Drought. *Fane-Fane International Multi-Disciplinary Journal*, 7(2 NOVEMBER), 17-27

Anaya, F., Fghire, R., Wahbi, S., & Loutfi, K. (2018). Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.10.002>

An, J., Hu, P., Li, F., Wu, H., Shen, Y., White, J.C., Tian, X., Li, Z., & Giraldo, J.P. (2020). Emerging investigator series: molecular mechanisms of plant salinity stress tolerance improvement by seed priming with cerium oxide nanoparticles. *Environmental Science: Nano*, 7(8), 2214-2228. <https://doi.org/10.1039/DOEN00387E>

Beheshti, F., & Khorasaninejad, S. (2023). Effect of silicon on some growth, physiological and phytochemical properties of *Cannabis sativa* L. in soil and soilless culture. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 10(4), 46-62. <https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1957995.1687> (In Persian)

Bijanzadeh, E., Naderi, R., & Egan, T. P. (2019). Exogenous application of humic acid and salicylic acid to alleviate seedling drought stress in two corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, 42(13), 1483-1495. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617312>

Damalas, C. A., Koutroubas, S. D., & Fotiadis, S. (2019). Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture*, 9(9), 201. <https://doi.org/10.3390/agriculture9090201>

Danaee, E., & Abdossi, V. (2021). Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1), 98-112. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.343340.2810> (In Persian)

Ding, Z., Kheir, A.M., Ali, O.A., Hafez, E.M., ElShamey, E.A., Zhou, Z., Wang, B., Ge, Y., Fahmy, A.E., & Seleiman, M.F. (2021). A vermicompost and deep tillage system to improve saline-sodic soil quality and wheat productivity. *Journal of Environmental Management*, 277, 111388. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111388>

پرایمینگ‌های مختلف درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر شوری‌های زیاد کاهش یافت، ولی سرعت جوانه‌زنی بذور در معرض تنش بیشتر از سرعت جوانه‌زنی بذرهای عاری از تنش بود. زیاد شدن شدت شوری در کلیه پرایمینگ‌های مورد مطالعه دارای اثر منفی بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بود، ولی از این نظر بین پرایمینگ‌های مختلف در هر سطح شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اثر انواع پرایمینگ بسته به میزان تنش شوری و نوع صفات مورد مطالعه متفاوت بود، به‌عنوان مثال در محیط بدون تنش، نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم منجر به افزایش معنی‌دار مقدار شاخص بنیه گیاهچه ۱، ضریب رشد ناموزون و زیست‌توده کل گردید و در شرایط اعمال شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین شاخص بنیه گیاهچه ۱، ضریب رشد ناموزون و وزن خشک ساقه‌چه در تیمار هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک بدست آمد. همان‌طور که در جدول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، هالوپرایمینگ بذر با نترات پتاسیم منجر به تولید بیشترین شاخص همسان‌سازی در شرایط شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و زیست‌توده کل در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر شد. به‌طور کلی با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌نظر می‌رسد با کاربرد انواع مختلف پرایمینگ به‌ویژه نانوپرایمینگ دی‌اکسید سیلیسیم و هورموپرایمینگ اسید سالیسیلیک می‌توان نقش مؤثری در کاهش اثرات منفی تنش شوری و به‌تبع آن بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ترشک ایفا کرد.

تعارض منافع

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

Reference

Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2019). Green-synthesized nanoparticles enhanced seedling growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(17), 14580-14590. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02180>

- Farooq, M., Hussain, M., Imran, M., Ahmad, I., Atif, M., & Alghamdi, S. S. (2019).** Improving the productivity and profitability of late sown chickpea by seed priming. *International Journal of Plant Production*, 13, 129-139. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00041-z>
- Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., & Van Genuchten, M. T. (2020).** Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management*, 231, 106022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106022>
- Hameed, A., Farooq, T., Hameed, A., & Sheikh, M. A. (2021).** Silicon-mediated priming induces acclimation to mild water-deficit stress by altering physio-biochemical attributes in wheat plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 625541. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.625541>
- Hanslin, H. M., & Eggen, T. (2005).** Salinity tolerance during germination of seashore halophytes and salt-tolerant grass cultivars. *Seed Science Research*, 15(1), 43-50. <https://doi.org/10.1079/SSR2004196>
- Hernandez-Apaolaza, L. (2022).** Priming with silicon: a review of a promising tool to improve micronutrient deficiency symptoms. *Frontiers in Plant Science*, 13, 840770. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.840770>
- Ivani, R., Sanaei Nejad, S. H., Ghahraman, B., Astarai, A. R., & Feizi, H. (2018).** Role of bulk and Nanosized SiO₂ to overcome salt stress during Fenugreek germination (*Trigonella foenum-graceum* L.). *Plant signaling & behavior*, 13(7), e1044190. <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1044190>
- Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Shabala, S., Massart, A., Poschenrieder, C., & Rengel, Z. (2015).** The NPR1-dependent salicylic acid signalling pathway is pivotal for enhanced salt and oxidative stress tolerance in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 66(7), 1865-1875. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru528>
- Jisha, K. C., & Puthur, J. T. (2018).** Seed hydropriming enhances osmotic stress tolerance potential in *Vigna radiata*. *Agricultural research*, 7, 145-151. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0306-x>
- Joseph, B., & Jini, D. (2010).** Insight into the role of antioxidant enzymes for salt tolerance in plants. *International Journal of Botany*, 6(4), 456-464.
- Joshi, N., Jain, A., & Arya, K. (2013).** Alleviation of salt stress in *Cucumis sativus* L. through seed priming with calcium chloride. *Indian Journal of Applied Research*, 3(11), 22-25.
- Idris, O. A., Wintola, O. A., & Afolayan, A. J. (2017).** Phytochemical and antioxidant activities of *Rumex crispus* L. in treatment of gastrointestinal helminths in Eastern Cape Province, South Africa. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 7(12), 1071-1078. <https://doi.org/10.1016/j.apitb.2017.10.008>
- Kaya, C., Ak, B. E., & Higgs, D. (2003).** Response of salt-stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/or potassium nitrate. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), 543-560. <https://doi.org/10.1081/PLN-120017664>
- Khan, M.A., Shaheen Kashmir, S.K., Ali, H.H., Bakhtiar Gul, B.G., Ali Raza, A.R., Umm-e-Kulsoom, U.E.K., Uslu, O.S., & Hasnain Waheed, H.W. (2019).** Effect of environmental factors on the germination and growth of *Parthenium hysterophorus* and *Rumex crispus*. *Pakistan Journal of Botany*, 51(6), 2195-2202.
- Kumar, G. D., Raja, K., Natarajan, N., Govindaraju, K., & Subramanian, K. S. (2020).** Invigouration treatment of metal and metal oxide nanoparticles for improving the seed quality of aged chilli seeds (*Capsicum annum* L.). *Materials Chemistry and Physics*, 242, 122492. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122492>
- Maghsoudi, K., Emam, Y., Ashraf, M., & Arvin, M. J. (2019).** Alleviation of field water stress in wheat cultivars by using silicon and salicylic acid applied separately or in combination. *Crop and Pasture Science*, 70(1), 36-43. <https://doi.org/10.1071/CP18213>
- Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S., & Theerakulpisut, P. (2017).** Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific reports*, 7(1), 8263. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08669-5>
- Mahmoodzadeh, b.s., Aliabadi farahani, h., Farahvash, f., & Hassanpour darvishi, h. (2011).** Effect of hydropriming on seedling emergence in sunflower cultivars. *Journal of crop ecophysiology*, 2(4), 355-366. (In Persian)
- Manjaiah, K.M., Mukhopadhyay, R., Paul, R., Datta, S.C., Kumararaja, P., Sarkar, B. 2019.** Clay Minerals and Zeolites for Environmentally Sustainable Agriculture. In *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. 309-329.
- Manjaiah, K. M., Mukhopadhyay, R., Paul, R., Datta, S. C., Kumararaja, P., & Sarkar, B. (2019).** Clay minerals and zeolites for environmentally sustainable agriculture. In *Modified clay and zeolite nanocomposite materials*, pp, 309-329). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814617-0.00008-6>
- Martín-Esquinas, A., & Hernández-Apaolaza, L. (2021).** Rice responses to silicon addition at different Fe status and growth pH. Evaluation of ploidy changes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 163, 296-307. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.012>
- Matache, C. C., Cornescu, G. M., Muntiu-Rusu, M. I., Bunduc, V., & Panaite, T. D. (2023).** *Rumex* species an alternative feed source of nutrients for livestock. *Animal & Food Sciences Journal Iasi*, 71-76.

- Meena, R. P., Tripathi, S. C., Chander, S., Chhokar, R. S., & Sharma, R. K. (2015). Seed priming in moisture-stress conditions to improve growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agronomy*, 60(1), 99-103. <https://doi.org/10.59797/ija.v60i1.4421>
- Mehmood, S., Khatoun, Z., Amna, Ahmad, I., Muneer, M.A., Kamran, M.A., Ali, J., Ali, B., Chaudhary, H.J., & Munis, M.F.H. (2023). *Bacillus* sp. PM31 harboring various plant growth-promoting activities regulates *Fusarium* dry rot and wilt tolerance in potato. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 69(2), 197-211. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1971654>
- Moreno, C., Seal, C. E., & Papenbrock, J. (2018). Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(1), 40-48. <https://doi.org/10.1111/jac.12242>
- Muhammad Abid, M.A., Hakeem, A., Shao YuHang, S.Y., Liu Yang, L.Y., Zahoor, R., Fan YongHui, F.Y., Jiang SuYu, J.S., Ata-Ul-Karim, S.T., Tian ZhongWei, T.Z., Jiang Dong, J.D., & Snider, J.L. (2018). Seed osmopriming invokes stress memory against post-germinative drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 145, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.10.002>
- Plaksenkova, I., Kokina, I., Petrova, A., Jermalonoka, M., Gerbreders, V., & Krasovska, M. (2020). The impact of zinc oxide nanoparticles on cytotoxicity, genotoxicity, and miRNA expression in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. *The Scientific World Journal*, 2020(1), 6649746. <https://doi.org/10.1155/2020/6649746>
- Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S., & Piernik, A. (2020). Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, 10(6), 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>
- Ranal, M. A., & Santana, D. G. D. (2006). Como e por que medir o processo de germinação?. *Brazilian Journal of Botany*, 29, 1-11. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002>
- Rastogi, A., Yadav, S., Hussain, S., Kataria, S., Hajihashemi, S., Kumari, P., Yang, X., & Brestic, M. (2021). Does silicon really matter for the photosynthetic machinery in plants...?. *Plant Physiology and Biochemistry*, 169, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.004>
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2), 157-161. <https://doi.org/10.1023/A:1006386800974>
- Song, J. I. E., Feng, G. U., Tian, C., & Zhang, F. (2005). Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed-germination stage. *Annals of Botany*, 96(3), 399-405. <https://doi.org/10.1093/aob/mci196>
- Souri, Z., Khanna, K., Karimi, N., & Ahmad, P. (2021). Silicon and plants: current knowledge and future prospects. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 906-925. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10172-7>
- Srivastava, A. K., Suresh Kumar, J., & Suprasanna, P. (2021). Seed 'primeomics': plants memorize their germination under stress. *Biological Reviews*, 96(5), 1723-1743. <https://doi.org/10.1111/brv.12722>
- Umair, A., Ali, S., Bashir, K., & Hussain, S. (2010). Evaluation of different seed priming techniques in mung bean (*Vigna radiata*). *Soil Environ*, 29, 181-186.
- Veisi, Z., Ghorbanpour, M., & Akramian, M. (2023). The effects of silicon nanoparticles on morpho-physiological and biochemical parameters of *Calendula officinalis* L. plants under salinity stress in hydroponic culture conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 11(47), 211-229. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.47.10.9> (In Persian)
- Ye, Y., Cota-Ruiz, K., Hernández-Viezas, J.A., Valdes, C., Medina-Velo, I.A., Turley, R.S., Peralta-Videa, J.R., & Gardea-Torresdey, J.L. (2020). Manganese nanoparticles control salinity-modulated molecular responses in *Capsicum annuum* L. through priming: A sustainable approach for agriculture. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(3), 1427-1436. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.9b05615>
- Zammali, I., Dabbous, A., Youssef, S., & Ben Hamed, K. (2022). Effects of chemical priming on the germination of the ornamental halophyte *Lobularia maritima* under NaCl salinity. *Seeds*, 1(2), 99-109. <https://doi.org/10.3390/seeds1020009>