

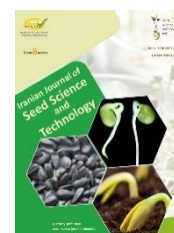


Seed
Science
Society of
Iran



Seed and Plant
Certification and Registration
Institute

Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Effects of priming chickpea seeds with iron oxide under salinity stress on germination characteristics: comparison of nanoparticles and bulk

Nasrin Teimouri¹ , Mohsen Saeidi^{2*} , Mahmood Khoramivafa² , Shahab Khoshkhai³ 

1. Postdoctoral student, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.

2. Associated professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.

3. Researcher, Medicinal plants Department of Kermanshah ACECR institute of Higher Education, Kermanshah, Iran.

Article Information

Received: 19 Apr. 2024

Revised: 04 Jul. 2024

Accepted: 22 Jul. 2024

Keywords:

Growth,

Root,

Seed vigor,

Sodium chloride,

Stem.

Corresponding Author:

msaeidi@razi.ac.ir



Abstract

Seed priming has been introduced as an effective and practical mechanism for increasing seed germination resistance and creating more vigorous seedlings against abiotic stresses such as drought and salinity. Therefore, this research was carried out as a factorial experiment to investigate the effect of priming chickpea seeds with iron oxide nanoparticle and bulk forms on the germination characteristics of chickpea cultivar Adel under salinity stress. The test factors include 1) seed priming with iron oxide bulk and nanoparticles 1-100 nm and 40-60 nm in three concentrations of 2, 4, 8 mg L⁻¹, hydro-prime and non-prime, and 2) salinity stress (30, 60, 90 mM of sodium chloride). The results showed that the salinity of 90 mM completely stopped the germination. Levels of 30- and 60-mM salinity caused a 23 and 63% decrease in germination and 72 and 89 % decrease in germination rate, respectively. Prime treatments significantly increased germination percentage and rate, mean daily germination, seed vigor, and allometric coefficient, and significantly decreased abnormal seedlings, especially at 60 mM of salinity. Salinity stress was observed to affect the germination rate more than the germination percentage. The most effective seed priming treatments were iron oxide bulk and nanoparticles 40-60 nm, 8 mg L⁻¹. Interestingly, the iron oxide nanoparticles showed no significant advantage over the bulk iron oxide. These findings suggest that priming treatments can enhance the salt resistance of chickpeas during the germination stage.

How to cite this paper: Teimouri, N., Saeidi, M., Khoramivafa, M., & Khoshkhai, Sh. (2026). Effects of priming chickpea seeds with iron oxide under salinity stress on germination characteristics: comparison of nanoparticles and bulk. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15(1), 51-71. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.365511.1523>



© 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

Chickpea (*Cicer arietinum* L.), with a protein content exceeding 20 %, is the most important members of the legume family. The cultivation of this crop is very common in the western regions of Iran. The relatively low grain yield production of Chickpea in Iran compared to the global average and the scientific potential for increasing its production, highlight the necessity of studies aimed to identify and classify the factors that limit grain yield in order to overcome them. Salinity of soil and water is among the major obstacles to achieving high yields in crops. Seed germination, seedling establishment, and crop productivity in arid and semi-arid regions are often restricted by salt stress, which is a primary form of osmotic stress. Seed priming is a low-cost and effective physiological and biochemical technique that stimulates seed germination and early plant establishment, improves morphological parameters, enhances plant growth and development, promotes earlier maturation, and increases both the quantitative and qualitative traits of the yield. The adverse effects of salinity can be mitigated through several approaches, one of which is seed priming. Iron, as a micronutrient, plays a key role in nucleic acid and protein metabolism. It participates in the biosynthesis and regulation of numerous plant enzymes and may improve Chickpea germination characteristics under seed priming condition, particularly under stress, by enhancing antioxidant enzyme activity and reducing oxidative stress damage compared to non-primed (control) seeds and ultimately leading to improved grain yield in this crop. Therefore, this research to investigate the effect of seed priming with iron oxide nanoparticle and bulk forms on the germination traits of Chickpea in salinity stress.

Materials and Methods

This study was conducted in 2023 at Razi University on chickpea seeds of the Adel cultivar. The research was carried out in two separate stages. In the first stage, the seed priming treatment was performed. For priming, bulk Fe (Fe_2O_3), Fe nanoparticles (NPs) 1-100 nm, Fe-NPs 50-60 nm were used at different concentrations (0, 2, 4, and 8 mg L^{-1}). Both the bulk and NPs forms of Fe had a purity greater than 99.9 %. Hydropriming and non-primed seeds were also used as control treatments. To conduct the priming process, an experiment was designed in which Chickpea seeds were soaked for 8, 12, and 16 h under priming conditions at an ambient temperature of 25 °C. Water absorption by seeds and the stimulation of germination processes up to the point just before radicle emergence were used as the basis for determining the optimal priming duration. Accordingly, 12 h was identified as the best priming time and used in this experiment. In the second stage, the experiment was conducted as a factorial design in a completely randomized block design with three replications. Four salinity levels were tested, 0, 30, 60, and 90 mM using sodium chloride (NaCl) as the first factor, and primed seeds along with non-primed seeds as the second factor. Due to the absence of germination at the 90 mM salinity stress level, this treatment

was excluded from statistical analysis; consequently, three salinity levels were ultimately evaluated. Germination tests for Chickpea were carried out at a temperature of 20 °C using the between-paper method with Whatman filter paper for eight days. At the end of the experiment, various germination traits were measured, and the number of seeds that produced abnormal seedlings was also recorded. Data analysis was performed using SAS software (Version 9.2, SAS Institute, USA), and mean comparisons were made using Duncan's multiple range test ($\alpha = 0.05$).

Results

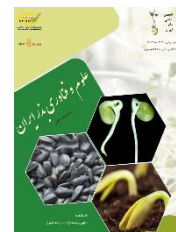
The salinity stress significantly affected all germination and seedling growth traits, except for the root-to-shoot ratio and seed priming effects on shoot length and root-to-shoot ratio ($p \leq 0.01$). The salinity \times seed priming treatment also significantly affected the germination percentage, germination speed, and medium daily germination ($p \leq 0.01$), as well as the mean time to seed germination and seedling vigor weight ($p \leq 0.05$). The 90 mM salinity stress level completely inhibited germination. Salinity levels of 30 and 60 mM caused 23 % and 63 % reduction in germination, respectively, and 72 % and 89 % reductions in germination rate, respectively. Seed priming significantly reduced the adverse effect of salinity on germination percentage and rate, mean time to germination, medium daily germination, seed vigor, and the allometric coefficient. Overall, the sensitivity of germination rate to salinity stress (89 %) was higher than that of germination percentage (37 %). Bulk Fe and Fe-NPs 50-60 nm at 8 mg L^{-1} were the best seed priming treatments. In this regard, the most positive effect on seedling length and radicle length was observed in the treatment with bulk Fe at 8 mg L^{-1} , with increases of 27.9 cm and 6.93 cm respectively, compared to control treatment (7.79 cm and 6.04 cm, respectively). Salinity stress treatment increased the percentage of abnormal seedlings. The highest increase in abnormal seedlings occurred at 60 mM salinity stress. Seed priming treatments reduced abnormal seedlings. The greatest reduction in abnormal seedlings under this condition was related to seed priming with Fe-NPs 50-60 nm at 8 mg L^{-1} .

Conclusion

The complete inhibition of Chickpea seed germination under 90 mM salinity stress treatment indicates the high sensitivity of this crop to salinity stress. Seed priming treatments with bulk Fe and Fe-NPs and hydropriming were able to modulate the negative effects of salinity stress on germination and its associated characteristics in Chickpea seeds in most cases. The sensitivity of germination rate to salinity stress was greater than that of germination percentage. Bulk Fe and Fe-NPs 50-60 nm at 8 mM were the best seed priming treatments. In general, it appears that under salinity stress condition, there is no significant difference between the Fe-NPs and bulk Fe in terms of their impact on Chickpea seed germination and seedling growth characteristics. Considering the higher price of NPs, the use of the bulk form of this fertilizer is recommended.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

اثرات پرایم بذر نخود با اکسید آهن تحت تنش شوری
بر خصوصیات جوانه‌زنی: مقایسه نانوذر و بالکنسرین تیموری^۱، محسن سعیدی^{۲*}، محمود خرمی وفا^۲، شهاب خوشخوی^۳

۱. دانشجوی پسادکتر گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳. پژوهشگر، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی گروه گیاهان دارویی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

واژه‌های کلیدی:

بنیه وزنی گیاهچه،

رشد،

ساقه‌چه،

ریشه‌چه،

کلرید سدیم.

نویسنده مسئول:

mseidi@razi.ac.ir

پرایمینگ بذر به عنوان یک سازوکار موثر و کاربردی جهت افزایش مقاومت جوانه‌زنی بذر و ایجاد گیاهچه قوی‌تر در برابر تنش‌های غیرزنده از جمله خشکی و شوری معرفی شده است. بر این اساس این پژوهش به منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر نخود با فرم‌های نانوذر و بالک اکسید آهن بر خصوصیات جوانه‌زنی رقم عادل در تنش شوری به صورت آزمایش فاکتوریل اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل (۱) پرایمینگ بذر با اکسید آهن بالک، نانوذر ۱-۱۰۰ نانومتر و ۶۰-۴۰ نانومتر در سه غلظت ۲، ۴، ۸ میلی‌گرم در لیتر، هیدروپرایم و عدم پرایم (۲) تنش شوری در سه سطح (۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بودند. نتایج نشان دادند تنش شوری ۹۰ میلی‌مولار جوانه‌زنی را به طور کامل متوقف نمود. سطوح ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار شوری به ترتیب سبب کاهش ۲۳ و ۶۳ درصدی جوانه‌زنی و ۷۲ و ۸۹ درصدی سرعت جوانه‌زنی شدند. پرایم بذر سبب افزایش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، بنیه بذر و ضریب آلومتریک و کاهش معنی‌دار گیاهچه‌های غیر نرمال مخصوصاً در غلظت ۶۰ میلی‌مولار تنش شوری شد. به طور کلی حساسیت سرعت جوانه‌زنی نسبت به تنش شوری (۸۹ درصد) بیش‌تر از درصد جوانه‌زنی (۳۷ درصد) بود. اکسید آهن بالک و اکسید آهن نانوذر ۶۰-۴۰ نانومتر و ۸ میلی‌گرم در لیتر برترین تیمارهای پرایم بذر بودند. در این تحقیق اکسید آهن نانوذر نسبت به اکسید آهن بالک برتری معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد تیمارهای پرایم بذر می‌توانند جهت افزایش مقاومت به شوری نخود در مرحله جوانه‌زنی به نحو موثری مورد استفاده قرار گیرند.

نحوه استناد به این مقاله:

Teimouri, N., Saeidi, M., Khoramivafa, M., & Khoshkhai, Sh. (2026). Effects of priming chickpea seeds with iron oxide under salinity stress on germination characteristics: comparison of nanoparticles and bulk. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15(1), 51-71. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.365511.1523>

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) با درصد پروتئین بالاتر از ۲۰ درصد (Upadhyaya et al., 2016; USDA, 2021) یکی از گیاهان با اهمیت خانواده حبوبات می باشد. کشت این گیاه در مناطق غربی کشور بسیار رایج است. بیشترین سطح زیر کشت نخود در کشور با حدود ۱۴۱ هزار هکتار مربوط به استان کرمانشاه است. پایین بودن مقدار عملکرد در واحد سطح این گیاه (۴۱۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با میانگین جهانی آن (۱۲۲۲ کیلوگرم در هکتار) (FAO, 2024) و امکان علمی افزایش مقدار تولید در واحد سطح این گیاه، ضرورت تحقیق در ارتباط با شناسایی دقیق عوامل محدود کننده تولید و دسته بندی علمی آن ها را جهت برطرف نمودن مشخص می سازد.

هر گونه شرایط نامطلوب که متابولیسم، رشد و یا نمو گیاه را به صورت منفی تحت تاثیر خود قرار دهد، تنش نامیده می شود (Du et al., 2020). شوری آب و خاک یکی از مهم ترین موانع حصول عملکردهای بالا در گیاهان زراعی است (Setayeshmehr & Esmailzadeh, 2013). بر اساس پیش بینی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، در سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد از اراضی قابل کشت در سراسر دنیا تحت تاثیر تنش شوری قرار خواهند گرفت (Krishnamoorthy et al., 2020).

وقتی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بیش تر از چهار دسی زیمنس بر متر باشد، به عنوان خاک شور طبقه بندی می شود (Krishnamoorthy et al., 2020). تنش شوری با تجمع یون های نظیر سدیم، سولفات و کلر در محیط ریزوسفر تعریف شده است، به نحوی که رشد و نمو طبیعی گیاه را مختل سازد (Ankur et al., 2021). پاسخ گیاهان به تنش شوری بسیار پیچیده است. این پاسخ از غلظت نمک، نوع یون ها، عوامل مختلف محیطی و مرحله رشد و نمو گیاه تاثیر می پذیرد (Ghavami et al., 2004). جوانه زنی، سبز شدن و تولید عملکرد گیاهان کشت شده در مناطق خشک و نیمه خشک، اغلب با تنش شوری از اصلی ترین فرم های تنش اسمزی است، محدود می شود (Ashraf et al., 2008). مرحله جوانه زنی گیاه، مرحله حساس و مهمی است که می تواند با استقرار مطلوب گیاهچه ها در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نماید (Khalesrou & Agha Alikhani, 2008). مرحله ی جوانه زنی،

یکی از حساس ترین مراحل رشد گیاه به تنش شوری و خشکی است (Manchanda & Grag, 2008). تنش شوری با محدود کردن جذب آب، کاهش تجزیه مواد ذخیره ای بذر و اختلال در ساخت پروتئین های ذخیره ای موجود منجر به کاهش جوانه زنی بذور می شوند. افزون بر این، سمیت ناشی از یون های سدیم و کلر در تنش شوری، نقش مهمی در کاهش شاخص های جوانه زنی بذور (Zamani et al., 2018) و تأخیر در جوانه زنی، کاهش درصد و سرعت جوانه زنی بذر و نیز کاهش رشد گیاهچه دارد (Tamartash et al., 2011). خسارت شوری در گیاهان از طریق اثر اسمزی، اثر سمیت یون ها و اختلال در جذب عناصر غذایی بروز می کند (Safarnejad et al., 2008). اثر شوری بر جوانه زنی به طور عمده در نتیجه اثر اسمزی کلرید سدیم است. در شرایط شور، املاح موجود در خاک موجب کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه شده و جذب آب توسط ریشه را محدود می کند. در نتیجه گیاه دچار نوعی خشکی فیزیولوژیک می شود (Azarnivand & Jafarian, 2005). در بررسی تاثیر تنش شوری روی چغندر قند، گونه ای از کلم پیچ، براسیکا و تاج خروس، درصد و سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه و ساقه چه، وزن تر ریشه چه و ساقه چه تحت تاثیر میزان نمک قرار گرفت و با شدت تنش رابطه عکس داشت (Jamil et al., 2006). در تنش شوری به علت کاهش پتانسیل آب محیط اطراف بذر، مدت زمان بیش تری طول می کشد تا بذر بتواند آب مورد نیاز خود را به اندازه کافی به دست آورد، بنابراین زمان جوانه زنی را طولانی تر می سازد (Amiri et al., 2010). حضور نمک در محیط ممکن است آغاز فرآیند جوانه زدن را به تاخیر انداخته، سرعت آن را کاهش داده و همچنین غیر یکنواختی جوانه زنی را سبب شود (Madadi et al., 2016). بنابراین بذرهایی که بتوانند در مرحله جوانه زنی واکنش مناسبی نسبت به شوری نشان دهند، رشد بهتری داشته و سیستم ریشه ای قوی تری تولید می کنند (Kabiri & Naghizadeh, 2015).

پرایمینگ یا خیس اندن بذر یک فرآیند فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کم هزینه و مؤثر است که به تحریک جوانه زنی بذر، استقرار اولیه گیاه، بهبود پارامترهای مورفولوژیک و افزایش رشد و نمو گیاه، زودرسی و افزایش ویژگی های کمی و کیفی محصول

است. بنابراین وجود راه کارهایی جهت مقابله با این شرایط از اهمیت فوق العاده برخوردار است. با توجه به نقش کلیدی عنصر آهن در تنظیم فعالیت‌های آنزیمی موثر در جوانه‌زدن و سبز شدن بذر، این تحقیق به منظور بررسی تاثیر پرایمینگ بذر بر کیفیت جوانه‌زنی بذر و مقایسه پرایم بذر با فرم بالک و نانوذره (با اندازه ذرات مختلف) اکسید آهن در شدت‌های مختلف تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر نخود زراعی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی روی بذر نخود رقم عادل انجام شد. نخود رقم عادل از تیپ کابلی است. این رقم پس از انجام آزمایشات مزرعه‌ای مختلف، در سال ۱۳۹۴ توسط موسسه تحقیقات دیم کشور معرفی شد (Jahanghiri et al., 2015). رقم عادل سطح زیر کشت قابل توجهی در مناطق غربی کشور دارد. بذر این رقم از موسسه تحقیقات دیم سرارود تهیه شد. این تحقیق در دو مرحله جداگانه انجام شد. در مرحله اول، تیمار پرایمینگ بذر انجام شد. جهت پرایم بذرهای از ترکیبات مختلف شامل اکسید آهن بالک (معمولی)، اکسید آهن نانوذره با قطر ذرات ۱۰۰-۱ نانومتر، اکسید آهن نانوذره با اندازه ذرات ۶۰-۴۰ نانومتر در غلظت‌های مختلف شامل صفر، ۲، ۴، ۸ میلی گرم در لیتر استفاده شد. فرم بالک و نانوذره آهن به صورت اکسید آهن بودند و با درجه خلوص بیش از ۹۹/۹ درصد از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شدند. همچنین از روش هیدروپرایم و بدون پرایم هم به عنوان تیمارهای شاهد استفاده گردید. به منظور انجام تیمار پرایم، ابتدا آزمایشی طراحی شد و بذر نخود در زمان‌های هشت، ۱۲ و ۱۶ ساعت در شرایط پرایم با دمای محیط ۲۵ درجه سانتی گراد در آب قرار گرفتند. جذب آب توسط بذر و تحریک فرایندهای جوانه‌زنی تا قبل از خروج ریشه‌چه از بذر مبنای تعیین زمان مناسب پرایم قرار گرفت. بر این اساس ۱۲ ساعت بهترین زمان بود. بنابراین بذرهای نخود در غلظت‌های مختلف اکسید آهن بالک و نانوذره و آب (هیدروپرایم) در شرایط پرایم قرار گرفتند. به منظور فعال شدن مناسب فرایندهای اولیه جوانه‌زنی، در طول مدت ۱۲ ساعت انجام

منجر می‌شود (Rhaman et al., 2020; Wiszniewska, 2021). اثرات منفی شوری می‌تواند به وسیله اقدامات مختلفی رفع گردد که پرایمینگ بذر از جمله این روش‌ها محسوب می‌شود (Madadi et al., 2016). پرایمینگ یکی از روش‌های بهبود کارکرد بذر می‌باشد. در پرایمینگ بذرهای مقدار آب جذب می‌کنند تا مراحل اولیه جوانه‌زنی انجام شود اما ریشه‌چه خارج نمی‌شود. این عمل باعث افزایش درصد، سرعت، یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن بذر می‌گردد. پرایمینگ باعث افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانی از قبیل گلوکاتایون و آسکوربات در بذر می‌گردد که این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسیون لیپید را طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند و در نتیجه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند (Soltani et al., 2008). پرایمینگ دارای محاسن و معایبی است و بسته به گونه گیاهی، مرحله نموی گیاه، غلظت عامل پرایمینگ و مدت زمان اعمال تیمار، اثرات متفاوتی برجا می‌گذارد (Madadi et al., 2016). با توجه به گسترش استفاده از نانوذرات در کشاورزی از جمله در تولید کودها و محرک‌های رشد (Saha et al., 2022)، به نظر می‌رسد که کاربرد نانوذرات در پیش تیمار بذر راهکار مناسبی جهت بهبود فرایند جوانه‌زدن و سبز شدن گیاه باشد.

عنصر آهن به عنوان یکی از عناصر کم مصرف، نقش مهمی در متابولیسم اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها دارد (Rout & Sahoo, 2015). عنصر آهن در فرایند بیوسنتز و تنظیم فعالیت تعداد زیادی از آنزیم‌های گیاهی نقش دارد (Ning et al., 2023). مظهر و همکاران (Mazhar et al., 2023) یکی از دلایل بهبود خصوصیات جوانه‌زنی نخود را در شرایط پرایمینگ بذر مخصوصاً در شرایط وقوع تنش، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و کاهش خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو در مقایسه با بذرهای پرایم نشده (شاهد) گزارش نمودند. افزایش معنی دار درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین رشد گیاهچه تحت تاثیر پرایمینگ بذر با سولفات آهن روی برنج (Kharb et al., 2023) و اکسید آهن روی سورگوم (Maswada et al., 2018) و نخود (Mazhar et al., 2023) نیز گزارش شده است.

شوری اراضی کشاورزی و آب آبیاری یکی از مشکلات کشت و کار گیاهان زراعی است که روز به روز در حال گسترش

ریشه‌چه، در پایان روز هشتم از هر پتری دیش ۱۰ بذر جوانه‌زده به صورت تصادفی انتخاب و پس از جدا کردن بخش‌های مورد نظر از بذر، ابتدا طول آن‌ها و سپس وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. در ادامه صفت‌های زیر نیز اندازه‌گیری شدند:

با شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه‌زده تا پایان آزمایش، درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱) و سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲) محاسبه شدند (Maguire, 1962; Nichols & Heydecker, 1986).

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

$$GR = \sum N_i / T_i \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه‌ها، GP: درصد جوانه‌زنی نهایی، N: تعداد بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، M: تعداد کل بذرها، GR: سرعت جوانه‌زنی، Ni: تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز و Ti: تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش می‌باشند.

متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی (MTG) براساس روش الیس و روبرتس (Ellis & Roberts, 1981) اندازه‌گیری شد (رابطه ۳).

$$MTG = \sum (N_i \times D_i) / \sum N \quad \text{رابطه ۳}$$

MTG: متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، Di: روز پس از شروع جوانه‌زنی، Ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز و N: تعداد بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش می‌باشد.

شاخص طولی و وزنی بینه گیاهچه نیز به ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شدند (Rahnama-Ghahfarokhi et al., 2007).

$$SVL = GP \times SL \quad \text{رابطه ۴}$$

$$SVW = GP \times SW \quad \text{رابطه ۵}$$

در این روابط، SVL: شاخص طولی بینه گیاهچه، GP: درصد جوانه‌زنی نهایی، SL: طول گیاهچه، SVW: شاخص وزنی بینه گیاهچه و SW: وزن گیاهچه بودند.

ضریب آلومتریک که رابطه بین وزن خشک قسمت‌های

پرایم بذر، به طور منظم ظرف‌های حاوی محلول‌های مختلف پرایم بذر هوادهی شدند. پس از پایان زمان پرایم، بذرها به سرعت شسته و ابتدا رطوبت سطح بذرها توسط حوله پارچه‌ای خشک و در ادامه بذرها روی چند لایه کاغذ به مدت ۲۴ ساعت هوادهی شدند (Bruggink et al., 1999). پس از خشک شدن بذرهای پرایم شده، جهت مرحله دوم آزمایش (بررسی کیفیت جوانه‌زنی) مورد استفاده قرار گرفتند.

در مرحله دوم، بذرهای پرایم شده به همراه بذرهای پرایم نشده (شاهد)، جهت بررسی کیفیت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش چهار سطح شوری شامل صفر (عدم تنش شوری)، ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار در لیتر با استفاده از کلرید سدیم (فاکتور اول) و بذرهای پرایم شده به همراه تیمار شاهد (فاکتور دوم) بودند. با توجه به عدم جوانه‌زنی بذرها در شدت تنش شوری ۹۰ میلی‌مولار، این سطح در تجزیه آماری حذف شد و در کل سه سطح شوری مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش جوانه‌زنی برای نخود در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و به صورت بین کاغذ صافی از نوع واتمن و به مدت هشت روز انجام شد (ISTA, 2016). پیش از انجام آزمایش، ابتدا بذرها توسط هیپوکلریت سدیم پنج درصد به مدت ۶۰ ثانیه ضدعفونی، سپس به سرعت سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. پتری دیش‌ها (با قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر) و کاغذهای صافی نیز توسط هیپوکلریت سدیم ضدعفونی شدند. در هر پتری دیش، تعداد ۲۵ بذر توزیع گردید. در ادامه میزان ۱۰ میلی‌لیتر محلول مورد نظر به هر پتری دیش افزوده شد و سپس به ژرمیناتور منتقل شده و در دمای 20 ± 1 درجه سانتی‌گراد (شب/روز) و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۶۰ درصد نگهداری شدند (ISTA, 2016). لازم به ذکر است که با بررسی منظم مقدار رطوبت هر پتری دیش به نوعی تنظیم شد که همواره یک لایه محلول زیر بذرها وجود داشته باشد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه و تا پایان آزمایش انجام شد. خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر به عنوان معیار جوانه‌زنی بذر در نظر گرفته شد (Alen et al., 1985). جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک و طول گیاهچه، ساقچه و

احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) و صفت‌های متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و شاخص وزنی بنیه گیاهچه در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) اثر معنی‌دار داشت (جدول ۱).

لازم به ذکر است که تیمار تنش شوری در چهار سطح شامل صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار انجام شد. با توجه به اینکه در شدت تنش ۹۰ میلی‌مولار نمک جوانه‌زنی صورت نگرفت، این سطح از تنش شوری در محاسبات آماری مورد استفاده قرار نگرفت. برخلاف این نتایج، عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2014) تا غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار، شتایا و همکاران (Shatay et al., 2021) و آزادبخت و بلوچی (Azadbakht & Balouchi, 2020) تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک طعام وقوع جوانه‌زنی را گزارش نمودند. به نظر می‌رسد اختلاف در نتایج مشاهده شده به ژنوتیپ‌های مورد بررسی مربوط است. احتمالاً حساسیت رقم عادل نسبت به رقم‌های مورد بررسی در تحقیقات ذکر شده به تنش شوری مربوط باشد. لازم به ذکر است که نخود یکی از گیاهان حساس به تنش شوری است و جوانه‌زنی بعضی از ژنوتیپ‌های این گیاه حتی در غلظت ۲۵ میلی‌مولار نمک هم به طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (Flowers et al., 2010).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار صفت‌های مرتبط با وزن تر و خشک و طول گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه به ترتیب در شرایط عدم تنش و شوری ۶۰ میلی‌مولار مشاهده شد. بر این اساس تیمار تنش شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار به ترتیب سبب کاهش ۲۱ و ۴۳ درصدی طول گیاهچه (شکل A ۱)، ۲۰ و ۳۴ درصدی وزن تر گیاهچه (شکل B ۱) و ۱۹ و ۳۸ درصدی وزن خشک گیاهچه (شکل C ۱) نسبت به تیمار عدم تنش شوری شدند. همچنین سطوح تنش شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار سبب کاهش ۲۸ و ۴۷ درصدی طول ریشه‌چه (شکل D ۱)، ۲۰ و ۳۰ درصدی وزن تر ریشه‌چه (شکل E ۱)، ۱۷ و ۲۶ درصدی وزن خشک ریشه‌چه (شکل F ۱)، صفر و ۳۱ درصدی طول ساقه‌چه (شکل G ۱)، ۲۰ و ۴۳ درصدی وزن تر ساقه‌چه (شکل H ۱) و ۲۳ و ۶۸ درصدی وزن خشک ساقه‌چه (شکل I ۱) شدند. با توجه به این نتایج، کاهش طول و وزن تر گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه در این شرایط می‌تواند با کاهش جذب آب و فشار آماس سلول‌ها مرتبط باشد. با کاهش فشار آماس سلول‌ها در این شرایط،

هوایی و ریشه گیاهچه را نشان می‌دهد، با استفاده از رابطه ۶ اندازه‌گیری شد (Gardner et al., 1999).

$$AC = SDW/RDW \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه AC: ضریب آلومتریکی، SDW: وزن خشک ساقه‌چه و RDW: وزن خشک ریشه‌چه بودند. متوسط جوانه‌زنی روزانه که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه می‌باشد، نیز بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد (Scott et al., 1984).

$$MDG = GP/D \quad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه فوق، MDG: متوسط جوانه‌زنی روزانه، GP: درصد جوانه‌زنی نهایی، D: تعداد روز تا رسیدن به درصد جوانه‌زنی نهایی (طول دوره آزمایش) بودند.

در پایان آزمایش تعداد بذره‌های جوانه‌زده‌ای که گیاهچه غیرنرمال تولید کرده بودند نیز شمارش شدند. شرایط این بذرها به نوعی است که در صورت انتقال به مزرعه قادر به ایجاد گیاهچه نرمال نخواهند بود (ISTA, 2016). در ادامه پس از جمع‌آوری و محاسبه داده‌ها، ابتدا نرمال بودن روند توزیع داده‌ها بررسی شد و در صورت نیاز اقدام به نرمال کردن داده‌ها شد و تجزیه داده‌ها در براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری MSTATC (Version 9.2, SAS Institute, USA) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌های جوانه‌زنی و صفت‌های مرتبط با آن، تیمار تنش شوری بر سایر صفت‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به غیر از صفت نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) اثر معنی‌دار داشت. همچنین تیمار پرایمینگ بذرها نیز بر سایر صفت‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به غیر از طول ساقه‌چه و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) اثر معنی‌دار داشت. اثر متقابل تنش شوری × پرایمینگ بذرها بر صفت‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه در سطح

ساقه مناسب‌ترین صفات از نظر ارزیابی تحمل به تنش شوری می باشند. در این آزمایش کاهش شدیدتر طول ریشه‌چه نسبت به ساقه‌چه در سطوح تنش شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار نسبت به طول ساقه‌چه نشان‌دهنده حساسیت بیش‌تر رشد طولی ریشه‌چه در شرایط تنش شوری است. دلیل کاهش شدیدتر رشد ریشه‌چه در این شرایط ممکن است به جذب آب و نمک توسط ریشه‌چه و در نتیجه تماس بیش‌تر ریشه‌چه با نمک باشد (Tarchoun et al., 2022).

رشد سلول‌ها و در نتیجه رشد گیاهچه نیز کاهش می‌یابد. در همین ارتباط شارما و همکاران (Sharma et al., 2004) دلیل کاهش طول گیاهچه را در شرایط تنش شوری کاهش میزان آب بافت گزارش نمودند. کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در این شرایط براساس گزارش Abdoli et al. (2013)، Quji et al. (2015) و Stanislav et al. (2019) ممکن است به دلیل کاهش جذب آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی آب و سمیت یونی باشد. براساس نظر Janghel et al. (2020) و Shin et al. (2020) طول ریشه و

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای تنش شوری و پرایمینگ بذر بر برخی خصوصیات مرتبط با کیفیت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه نخود

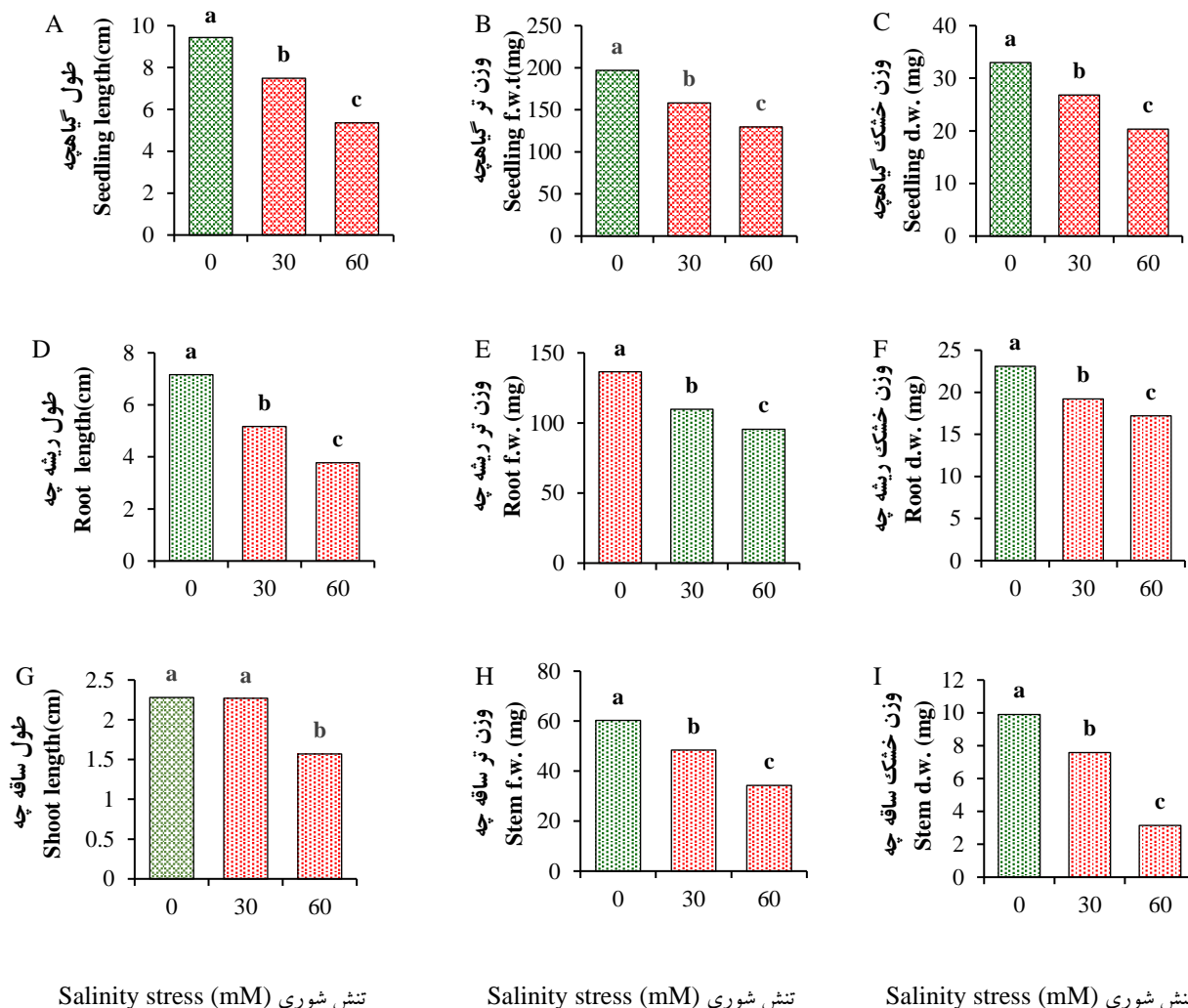
Table 1- Variance analysis (mean square) of Salinity stress and seed priming effects on Chickpea seed germination and growth

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی d.f.	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	طول ریشه‌چه Root length	وزن تر ریشه‌چه Root fresh weight	وزن خشک ریشه‌چه Root dry weight	طول ساقه‌چه Shoot length	وزن تر ساقه‌چه Shoot fresh weight	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	گیاهچه غیر نرمال Abnormal seedling
تنش شوری Salinity stress (S)	2	137**	37445**	1319**	95.3**	14331**	295**	5.74**	5618**	389**	9053**
پرایمینگ بذر Seed priming (P)	10	5.71**	1596**	99.8**	4.55**	826**	69.3**	0.763 ^{ns}	475*	22.4**	79.1**
S×P	20	0.143 ^{ns}	165 ^{ns}	10.8 ^{ns}	0.117 ^{ns}	146 ^{ns}	9.91 ^{ns}	0.159 ^{ns}	147 ^{ns}	4.61 ^{ns}	38.2**
خطا Error	66	0.560	212	8.94	0.265	168	5.84	0.421	186	3.47	15.4
ضریب تغییرات CV (%)		10.07	9.02	11.19	9.58	11.38	12.18	31	28.65	27.08	21.7

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی d.f.	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی Mean time to seed germination	متوسط جوانه‌زنی روزانه Medium daily germination	شاخص طولی بنه گیاهچه Seedling vigor length	شاخص وزنی بنه گیاهچه Seedling vigor weight	ضریب آلومتریک Allometric coefficient	ساقه‌چه/ریشه‌چه Root/Shoot
تنش شوری Salinity stress (S)	2	15759**	2396**	213**	246**	334755 2**	3716518 4**	0.666**	9.33 ^{ns}
پرایمینگ بذر Seed priming (P)	10	230**	8.17**	0.464**	3.60**	38782**	911887**	0.094**	36.7 ^{ns}
S×P	20	113**	3.33**	0.089*	1.77**	8541 ^{ns}	193957*	0.021 ^{ns}	31.7 ^{ns}
خطا Error	66	36.0	0.916**	0.041	0.563	6065	94857	0.013	139
ضریب تغییرات CV (%)		7.32	11.5	4.57	7.32	12.2	13.5	12.4	49

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: non- significant, significant at the five and one percent of probability, respectively



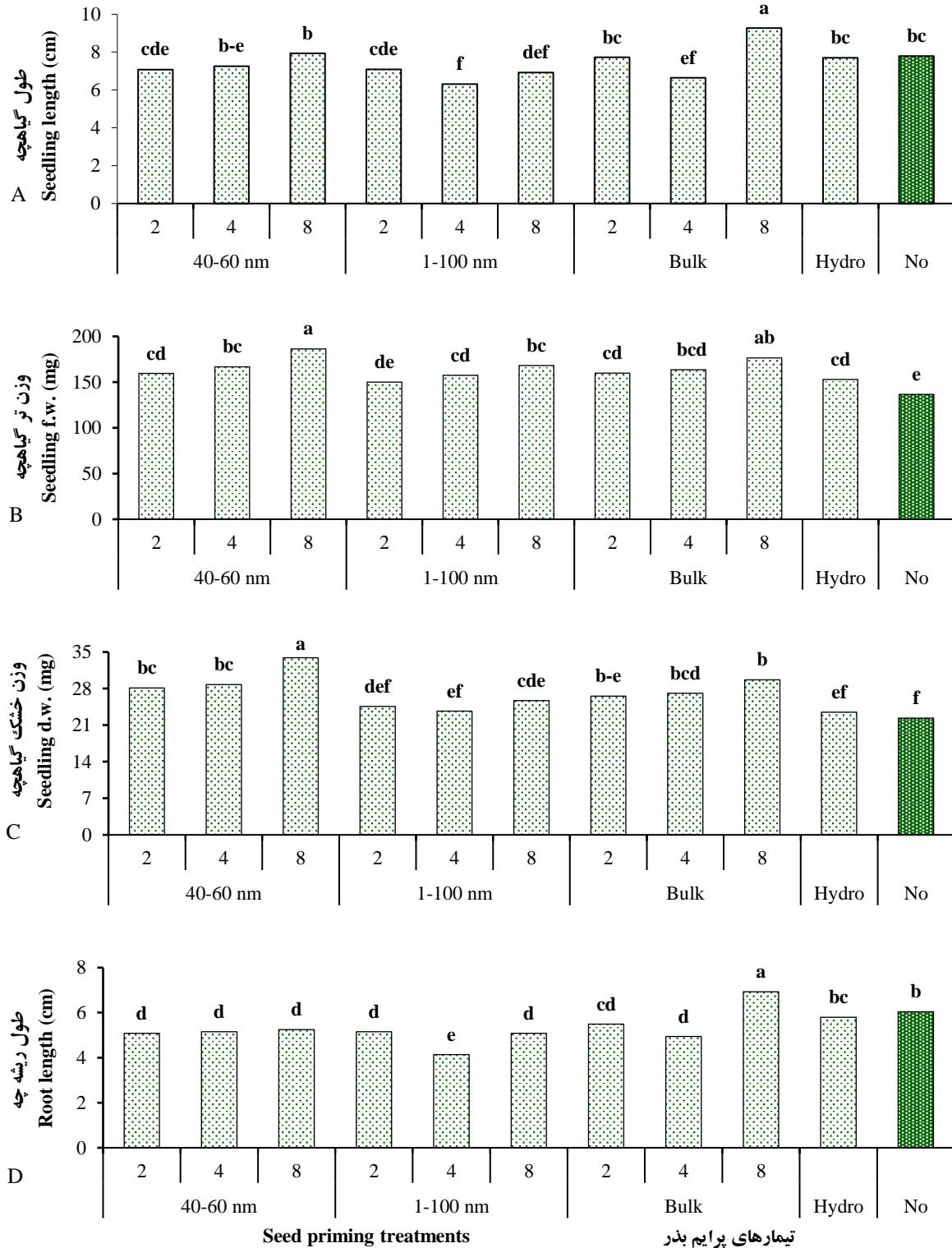
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح تنش شوری بر طول و وزن گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود تحت تاثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر. براساس آزمون دانکن، ستون‌ها با حروف یکسان در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Mean comparison of the effect of Salinity stress on the length and weight of chickpea seedlings, roots, and shoots in seed priming treatments.

According to Duncan's test, the columns with the same letters are not significantly different at the five percent probability level.

تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش معنی‌دار وزن تر گیاهچه و ساقه‌چه (شکل‌های B ۲ و C ۳) نسبت به تیمارهای شاهد شدند. در این شرایط بیش‌ترین افزایش در وزن تر گیاهچه مربوط به تیمار پرایم بذر با اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر با ۳۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (۱۳۶ میلی‌گرم بود). بیش‌ترین وزن تر ساقه‌چه نیز مربوط به تیمار پرایم بذر با اکسید آهن نانوذره ۶۴-۴۰ نانومتر با غلظت ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر، اکسید آهن نانوذره ۱-۱۰۰ نانومتر با غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر و اکسید آهن بالک ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر بود. از نظر وزن تر ریشه‌چه نیز در بین سایر

بیش‌ترین اثر مثبت بر طول گیاهچه و طول ریشه‌چه (شکل D و ۲A) در تیمار اکسید آهن بالک ۸ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب با ۹/۲۷ و ۶/۹۳ سانتی‌متر نسبت به تیمار شاهد آن‌ها به ترتیب ۷/۷۹ و ۶/۰۴ سانتی‌متر دیده شد. سایر تیمارهای پرایم بذر نتوانستند نسبت به تیمار شاهد اثر مثبت بر طول گیاهچه و ریشه‌چه داشته باشند. در این شرایط حتی اکسید آهن بالک و اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سبب کاهش طول گیاهچه و طول ریشه‌چه شدند. سایر تیمارهای پرایم بذر اثر معنی‌دار بر طول ساقه‌چه نداشتند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر روش‌های مختلف تیمار پرایم بذر بر طول و وزن گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود تحت تاثیر سطوح مختلف تنش شوری. براساس آزمون دانکن، ستون‌ها با حروف یکسان در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

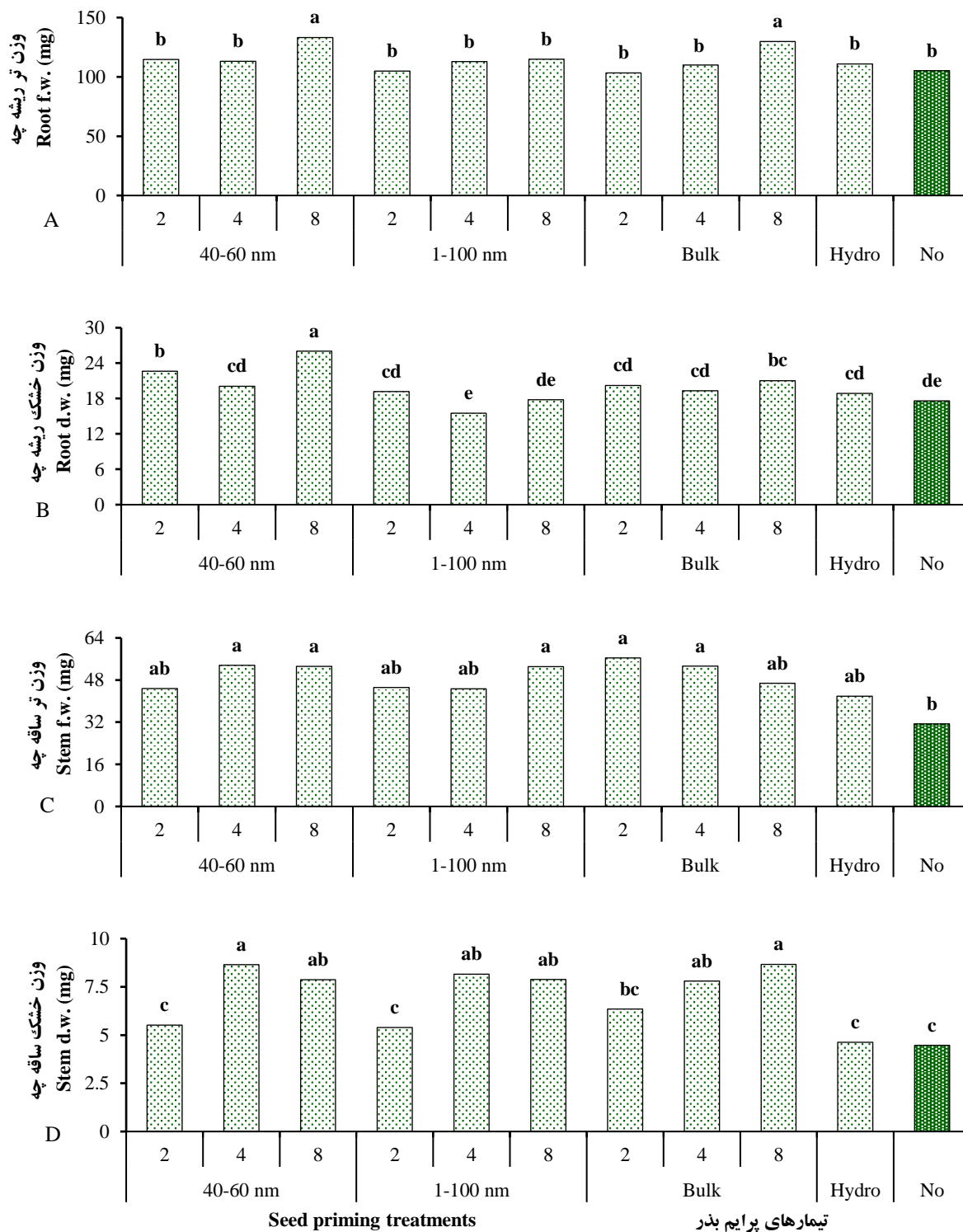
Figure 2- Mean comparison of the effect of different seed priming treatment methods on the length and weight of Chickpea seedlings, roots, and stems under the influence of different levels of salinity stress. According to Duncan's test, the columns with the same letters are not significantly different at the five percent probability level.

جوانه‌زنی بذر نخود به ترتیب ۲۳ و ۶۳ کاهش یافت. در تیمار شوری ۳۰ میلی‌مولار سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد (۷۷ درصد) شدند. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در این شرایط در بذرهای پرایم شده با فرم اکسید آهن بالک و اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب با ۹۷ و ۹۴ درصد مشاهده شد که با تیمار هیدروپرایم در این ارتباط تفاوت معنی‌دار نداشتند. در غلظت ۶۰ میلی‌مولار نیز سایر تیمارهای پرایمینگ بذر سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد (۳۳ درصد) شدند. در این شرایط بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمارهای اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر با غلظت ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر و اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر با غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب با درصد جوانه‌زنی ۷۱، ۶۹ و ۶۸ درصد بود (شکل ۴ A). کاهش درصد جوانه‌زنی تحت تاثیر سطوح مختلف تنش شوری در نخود پیش از این نیز گزارش شده است (Abbasi et al., 2014; Ali et al., 2014; Azadbakht & Shataya et al., 2021; Balouchi, 2020). با توجه به کاهش شدید درصد جوانه‌زنی در سطوح بالای تنش شوری همانند سطح ۶۰ میلی‌مولار در این تحقیق، به نظر می‌رسد که تنش شوری به دلیل افزایش پتانسیل اسمزی، جذب آب توسط بذر را به شدت کاهش داده و از این طریق سرعت جوانه‌زنی را کاهش داده و جوانه‌زنی بذر را به تأخیر می‌اندازد (Lopes et al., 2018) با افزایش شدت تنش شوری، سمیت یونی نیز بر درصد جوانه‌زنی تاثیر می‌گذارد. بنابراین کاهش درصد جوانه‌زنی بذر تحت تاثیر تیمارهای تنش شوری شدید می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم کلرید سدیم بر روی رشد جنین باشد که با اثرات سمی یون‌های سدیم و کلر، جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dadach et al., 2023). سمیت یونی در این شرایط از طریق تغییر در فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده ذخیره بذر از جمله پروتئین‌ها و نشاسته سبب کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود (Sghayar et al., 2023).

افزایش درصد جوانه‌زنی تحت تاثیر استفاده از نانوذرات آهن تحت تاثیر تیمار تنش شوری در گیاه علف‌شور توسط Riaihinia Masawada and danaeipour (2022) و در گیاه سورگوم توسط et al. (2018) نیز گزارش شده است.

تیمارهای پرایم بذر، اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر و اکسید آهن بالک ۸ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب با ۱۳۳ و ۱۲۹ میلی‌گرم نسبت به تیمار شاهد (۱۰۵ میلی‌گرم) برتر بودند. افزایش معنی‌دار وزن تر گیاهچه و ساقه‌چه با پرایم بذر نخود توسط نانوذرات اکسید آهن توسط پوار و همکاران (Pawar et al., 2019) نیز گزارش شده است. سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش وزن خشک گیاهچه نسبت به تیمار شاهد (۲۲/۴ میلی‌گرم) شدند. بیش‌ترین افزایش وزن خشک ریشه‌چه در این شرایط در تیمار اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر در غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر به مقدار ۲۶ میلی‌گرم مشاهده شد (شکل ۳ B). نتایج همچنین نشان دادند که به غیر از اکسید آهن بالک، نانوذره ۱۰۰-۱ و نانوذره ۶۰-۴۰ در غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد شدند. در این شرایط بذرهای پرایم شده با اکسید آهن بالک و اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر ۸ میلی‌گرم در لیتر دارای بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد بودند. هرچند اختلاف معنی‌داری با اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر و اکسید آهن بالک ۴ میلی‌گرم در لیتر نداشت (شکل ۳ D). پرایمینگ بذر با اکسید آهن در این شرایط پارامترهای بیوشیمیایی را افزایش می‌دهد، سطح پروتئین را افزایش می‌دهد، انتقال الکترون را بهبود می‌بخشد و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده ذخایر بذر در حین جوانه‌زنی را در طول جوانه‌زنی افزایش می‌دهد و در نتیجه سبب تحریک بیش‌تر رشد گیاهچه و افزایش وزن گیاهچه می‌شود (Gholami et al., 2022; Lemmens et al., 2019). افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با اعمال نانوذرات آهن توسط پوار و همکاران (Pawar et al., 2019) در نخود بیان شده است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار پرایمینگ بذر × تنش شوری بر درصد جوانه‌زنی (شکل ۴ A) مشخص شد که درصد جوانه‌زنی با افزایش شدت تنش شوری در تمامی تیمارهای پرایم شده کاهش یافت. در تیمار عدم تنش شوری، درصد جوانه‌زنی بذر در تمامی سطوح تیمارهای پرایمینگ بذر (آب پرایم، اکسید آهن بالک و نانوذره) ۱۰۰ درصد بود. در شرایط عدم تنش شوری، با اعمال تیمارهای شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار،



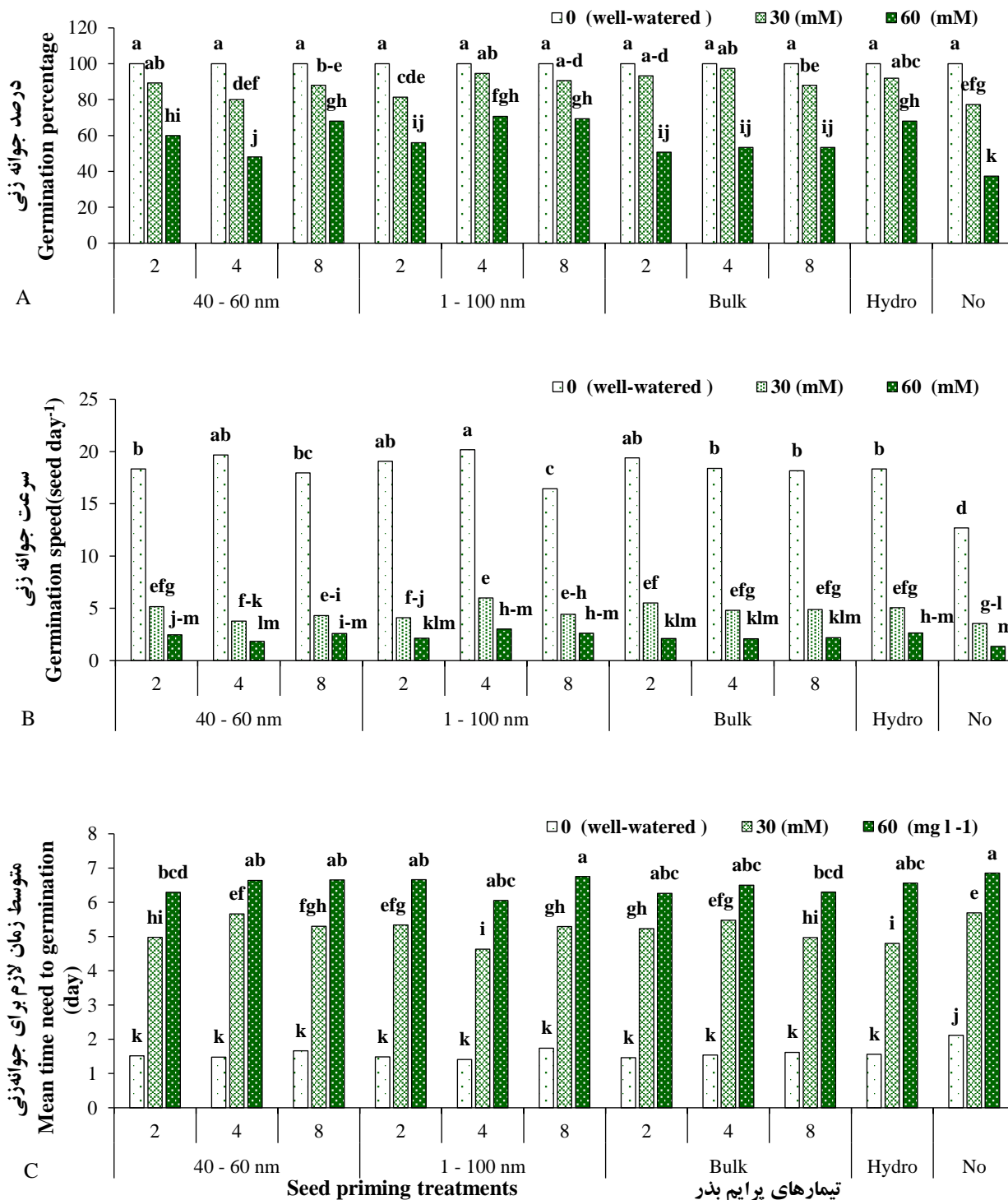
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر روش‌های مختلف تیمار پرایم بذر بر طول و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود تحت تاثیر سطوح مختلف تنش شوری. براساس آزمون دانکن، ستون‌ها با حروف یکسان در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 3- Mean comparison of the effect of different seed priming treatment methods on the length and weight of Chickpea roots, and stems under the influence of different levels of salinity stress.

According to Duncan's test, the columns with the same letters are not significantly different at the five percent probability level.

تیمارهای پرایم بذر در هر دو سطح تنش شوری متوسط جوانه‌زنی روزانه به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. در این شرایط در تیمار ۳۰ میلی‌مولار پرایمینگ بذر با اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر، اکسید آهن بالک ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر و هیدروپرایم بیش‌ترین متوسط جوانه‌زنی روزانه را به خود اختصاص دادند. با افزایش شدت تنش شوری متوسط جوانه‌زنی روزانه کاهش یافت. بیش‌ترین متوسط جوانه‌زنی روزانه در تیمار شوری ۶۰ میلی‌مولار سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش معنی‌دار متوسط جوانه‌زنی روزانه بذر نسبت به تیمار عدم پرایم بذر شدند. بیش‌ترین افزایش متوسط جوانه‌زنی روزانه در این شرایط مربوط به تیمارهای هیدروپرایم، پرایمینگ با اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ با غلظت ۴ و ۸ اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر ۸ میلی‌گرم در لیتر اختصاص داشت (شکل B ۵). در یک تحقیق، Alirezaei Naqander et al. (2013) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش شوری در گیاه ریحان دارویی متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش و متوسط جوانه‌زنی روزانه کاهش می‌یابد. همچنین اثر تنش شوری در کاهش سرعت جوانه‌زنی گیاهان زراعی در گزارشات متعدد ذکر شده است (Bakhshandeh & Jamali, 2020; Khan et al., 2021). افزایش سرعت جوانه‌زنی تحت تاثیر تیمار پرایمینگ بذر نیز گزارش شده است (An et al., 2020; Khan et al., 2021). تنش شوری از طریق کاهش سرعت جذب آب در نتیجه اثر اسمزی و با افزایش خروج یون‌ها، با تغییر فعالیت‌های هورمونی و آنزیمی، سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zenli et al., 2002). کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری همچنین ممکن است به دلیل کاهش روند جذب آب توسط بذر، سمیت یونی، افزایش فعالیت اکسیدانی و یا به هم خورد تعادل یونی درون بذر باشد (Tarchoun et al., 2022). به عبارت دیگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد، عدم تعادل عناصر غذایی، تاثیر ویژه یون‌ها و فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهد شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی بذرها کاهش می‌یابد (Ashraf & Hariss, 2004).

سرعت جوانه‌زنی بذر نخود در شرایط عدم تنش شوری ۱۲/۷ بذر جوانه‌زده در روز بود. تنش شوری ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار آن را به ترتیب ۷۲ و ۸۹ درصد کاهش دادند. این نتایج نشان داد سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی به سطوح تنش شوری حساس‌تر بود (شکل A و B ۴). همانطور که گفته شد سرعت جوانه‌زنی در شرایط عدم تنش شوری ۱۲/۷ بذر جوانه‌زده در روز بود. در این شرایط سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شدند. بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در بذر پرایم شده مربوط به تیمار اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر با ۲۰/۲ بذر جوانه‌زده در روز بود. در شرایط تنش شوری ۳۰ میلی‌مولار، اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر با شش بذر جوانه‌زده در روز، بیش‌ترین افزایش سرعت جوانه‌زنی را باعث شد. در تیمار تنش شوری ۶۰ میلی‌مولار، سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار عدم پرایم شدند، اما تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها نبود (شکل B ۴). با افزایش شدت تنش شوری متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طور مثال در شرایط عدم پرایم بذر، در تیمار عدم تنش شوری متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی ۲/۱۲ روز بود. با اعمال تنش شوری، در شدت تنش ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی به ترتیب ۵/۶۹ و ۶/۸۵ روز بود. با اعمال تیمارهای پرایم بذر، در هر سه سطح تنش شوری متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی کاهش یافت. در شرایط عدم تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای پرایم بذر در کاهش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی دیده نشد. در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار تیمارهای پرایم بذر اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ با غلظت ۴ میلی‌مولار و هیدروپرایم و در تیمار تنش شوری ۶۰ میلی‌مولار اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر کم‌ترین متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی را ایجاد نمودند (شکل C ۴). در شرایط عدم تنش شوری متوسط جوانه‌زنی روزانه ۱۲/۵ بذر بود و تیمارهای پرایمینگ بذر اثر معنی‌داری بر این صفت در این شرایط نداشتند. در شرایط عدم پرایم بذر با اعمال تیمار تنش شوری در غلظت‌های ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار، متوسط جوانه‌زنی روزانه ۹/۶۶ و ۴/۶۶ بذر در روز بود. با اعمال



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مختلف تیمار پرایم بذر × سطوح تنش شوری بر درصد، سرعت و متوسط زمان جوانه زنی نخود.

بر اساس آزمون دانکن، ستون‌ها با حروف یکسان در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 4- Mean comparison of the average interaction effect of different treatments of seed priming treatment × salinity stress levels on germination percentage and rate and mean time to see germination of Chickpea.

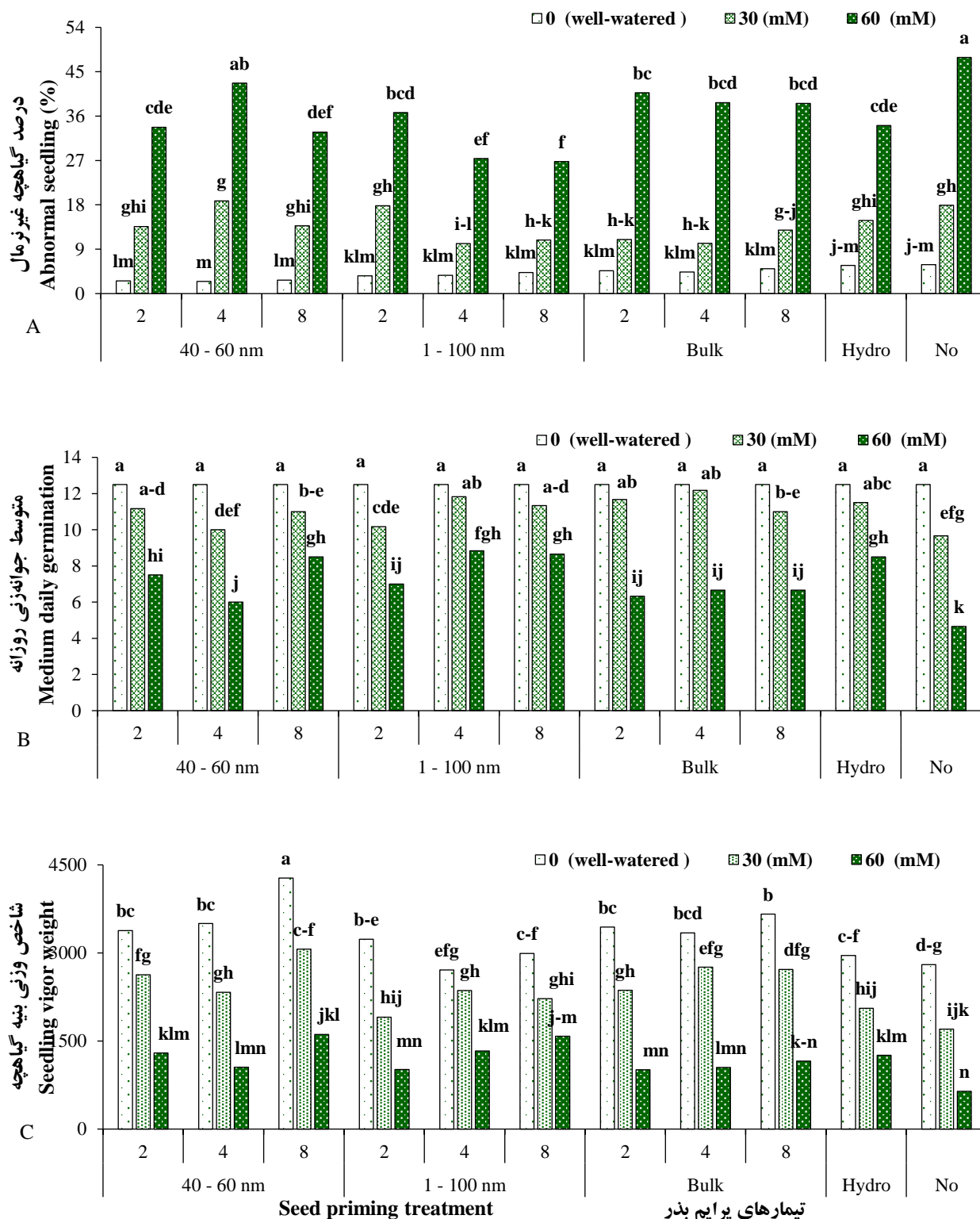
According to Duncan's test, the columns with the same letters are not significantly different at the five percent probability level.

تیمارهای پرایم بذر سبب کاهش معنی دار درصد گیاهچه‌های غیرنرمال نسبت به تیمار شاهد شدند. بیشترین کاهش درصد گیاهچه‌های غیرنرمال در این شرایط مربوط به تیمار پرایم بذر با آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر در غلظت ۸ میلی گرم در لیتر و آهن نانوذره ۱۰۰-۱ نانومتر در غلظت‌های ۴ و ۸ میلی گرم در لیتر بود. بنابراین تیمار تنش شوری مخصوصاً در سطح ۶۰ میلی مولار سبب افزایش معنی دار درصد بذره‌های غیرنرمال شد. از طرفی تیمارهای پرایم بذر به غیر از تیمار پرایم بذر با آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر بذر سبب کاهش معنی دار درصد گیاهچه‌های غیرنرمال شدند (شکل ۵ A). در مراحل اولیه جوانه‌زنی تنش شوری می‌تواند درصد جوانه‌زنی و گیاهچه‌های غیرنرمال را به طور معنی دار افزایش دهد (Christiansen et al., 2022). به نظر می‌رسد در این شرایط شکل‌گیری گونه‌های فعال اکسیژن و خسارت ناشی از آن‌ها در ایجاد گیاهچه‌های غیرنرمال نقش کلیدی داشته باشد (Hasanuzzaman Alam et al., 2022). بنابراین پرایمینگ بذر با اکسید آهن و هیدروپرایم در این تحقیق ممکن است از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز (Mazhar et al., 2023) سبب کاهش درصد گیاهچه‌های غیرنرمال در شرایط تنش شوری شده است.

اعمال تنش شوری سبب کاهش معنی دار ضریب آلومتریکی جوانه‌زنی نخود نسبت به تیمار شاهد شدند. در این شرایط کمترین ضریب آلومتریکی مربوط به تنش شوری ۶۰ میلی مولار بود. در تنش شوری ۳۰ و ۶۰ میلی مولار نسبت به شرایط عدم تنش ضریب آلومتریکی به ترتیب ۸ و ۵۹ درصد کاهش یافت (شکل ۶ C). ضریب آلومتریکی تحت تاثیر تیمارهای پرایم بذر با آب و اکسید آهن بالک و نانوذره در غلظت ۲ میلی گرم در لیتر قرار نگرفت، اما سایر تیمارهای پرایم بذر سبب افزایش معنی دار ضریب آلومتریکی نسبت به تیمار عدم پرایم شدند. در این شرایط تیمارهای اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر، ۱۰۰-۱ نانومتر و اکسید آهن بالک بیشترین ضریب آلومتریکی را در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر ایجاد نمودند (شکل ۶ B).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × پرایمینگ بر شاخص وزنی و طولی بینه گیاهچه نشان داد (شکل‌های D و A ۶)، در شرایط عدم پرایم بذر و عدم تنش شوری شاخص وزنی بینه گیاهچه ۲۶۰۰ بود. اعمال تیمارهای تنش شوری سبب کاهش معنی دار این صفت شدند. به نوعی که در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ میلی مولار شوری این صفت به ترتیب ۱۷۰۲ و ۶۴۲ بود. سایر تیمارهای پرایم بذر با آب، اکسید آهن بالک و اکسید آهن نانوذره سبب افزایش معنی دار این صفت در هر سه سطح تنش شوری شدند. در شرایط عدم تنش شوری و سطوح شوری ۳۰ و ۶۰ میلی مولار، تیمار پرایمینگ با اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ در غلظت ۸ میلی گرم در لیتر بیشترین شاخص وزنی بینه گیاهچه به ترتیب با ۴۷۲۵، ۳۰۶۳ و ۱۶۱۳ را داشت (شکل ۵ D). تیمارهای تنش شوری سبب کاهش معنی دار شاخص طولی بینه گیاهچه نسبت به تیمار شاهد (۹۴۴) شدند. تنش شوری ۶۰ میلی مولار کمترین شاخص طولی بینه گیاهچه (۳۰۸) را ایجاد نمود (شکل ۶ D). غلظت‌های ۸ میلی گرم در لیتر اکسید آهن بالک، اکسید آهن نانوذره ۱۰۰-۱ و اکسید آهن نانوذره ۶۰-۴۰ به ترتیب با ۷۸۸، ۶۴۲ و ۶۹۹ بیشترین شاخص طولی بینه گیاهچه را باعث شدند (شکل ۶ A). افزایش شدت تنش شوری باعث افزایش سمیت یونی در اندام هوایی و ریشه و کاهش شاخص‌های تحمل و بینه گیاهچه می‌شود (Khan et al., 2003; Khajeh-Hosseini et al., 2022). پرایمینگ بذر رشد سریع و سالم بذر و تولید گیاهچه قوی را در شرایط تنش شوری یا شرایط عادی افزایش می‌دهد. این به دلیل تحریک اولیه تغییرات مولکولی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی است (Kahn et al., 2022).

در شرایط عدم تنش شوری، تفاوت معنی داری از نظر درصد گیاهچه‌های غیرنرمال وجود نداشت. تیمار تنش شوری سبب افزایش درصد این صفت شد. بیشترین افزایش درصد گیاهچه‌های غیرنرمال مربوط به تیمار تنش شوری ۶۰ میلی مولار بود. در شرایط اعمال تیمار تنش شوری ۶۰ میلی مولار، بیشترین درصد گیاهچه‌های غیرنرمال مربوط به تیمار شاهد یا عدم پرایم بذر و آهن نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر به ترتیب با ۴۷/۹ و ۴۲/۷ درصد بود. در این شرایط، دیگر



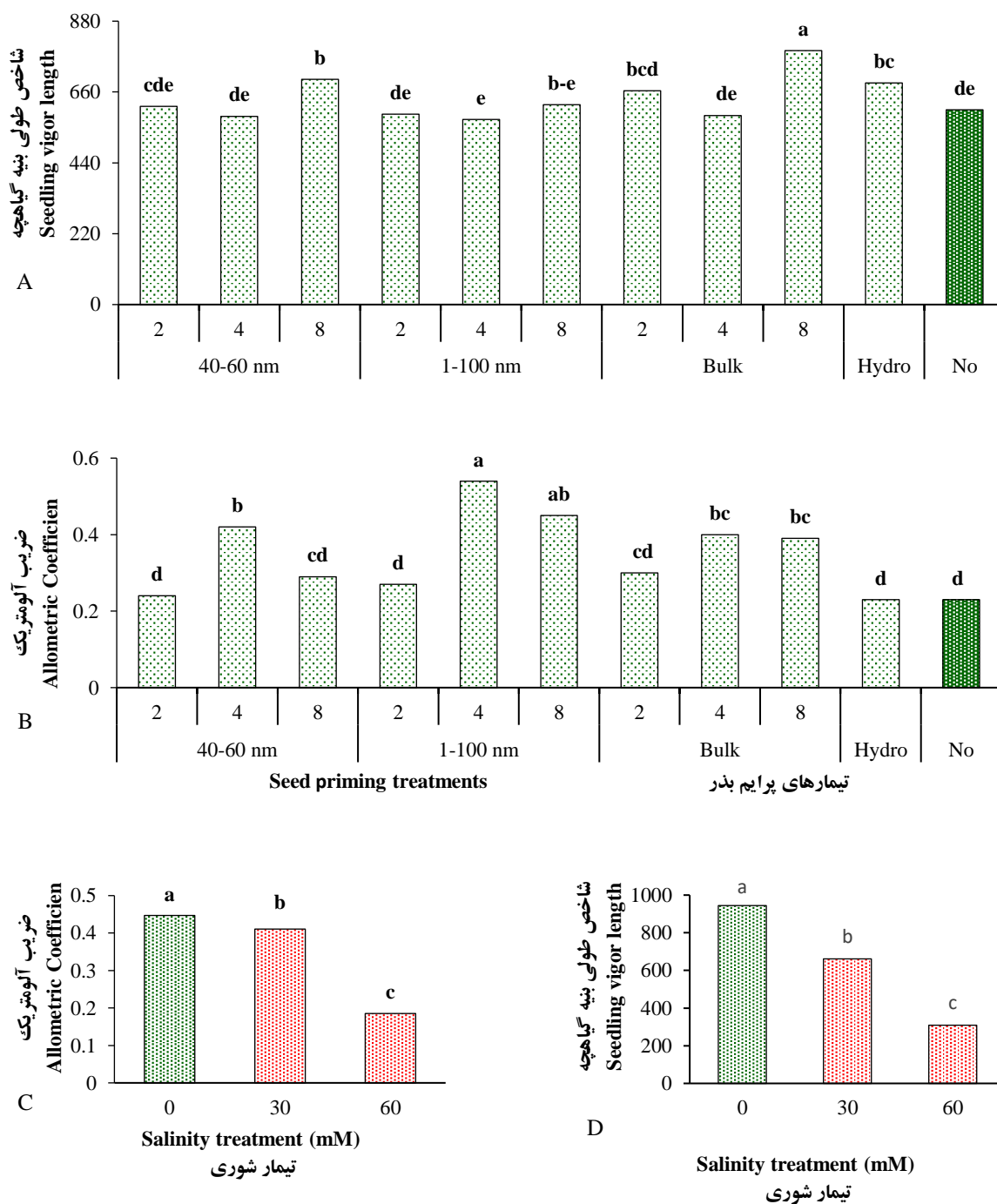
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مختلف تیمار پرایم بذر × سطوح تنش شوری

بر درصد گیاهچه غیرنرمال، متوسط جوانه‌زنی روزانه و شاخص وزنی بینه گیاهچه نخود.

براساس آزمون دانکن، ستون‌ها با حروف یکسان در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 5- Mean comparison of the average interaction effect of different treatments of seed priming treatment × salinity stress levels on medium daily germination and seedling vigor weight of Chickpea.

According to Duncan's test, the columns with the same letters are not significantly different at the five percent probability level.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف تیمار پرایم بذر بر شاخص طولی بنه بذر و ضریب آلومتریک و اثر سطوح تنش خشکی بر ضریب آلومتریک نخود. براساس آزمون دانکن، ستون‌ها با حروف یکسان در سطح احتمال پنج درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 6- Mean comparison of the average interaction effect of different treatments of seed priming treatment × salinity stress levels on seedling vigor length and Allometric coefficient of Chickpea.

According to Duncan's test, the columns with the same letters are not significantly different at the five percent probability level.

نتیجه گیری

توقف جوانه زنی بذر نخود در تیمار تنش رطوبتی ۹۰ میلی مولار نشاندهنده حساسیت بالای این گیاه به تنش شوری است. تیمارهای پرایم بذر با اکسید آهن بالک، نانوذره و هیدروپرایم در اکثر موارد توانستند اثرات منفی تنش شوری بر جوانه زنی و خصوصیات مرتبط با آن را در بذر نخود تعدیل کنند. حساسیت سرعت جوانه زنی نسبت به تنش شوری از درصد جوانه زنی بیش تر بود. این مساله نشان داد که احتمالاً یکی از اثرات منفی تنش شوری بر جوانه زنی بذر از طریق تاخیر در جوانه زنی بذر می باشد. با توجه به اهمیت جوانه زنی سریع بذر در شرایط پیچیده درون خاک، این مساله می تواند موفقیت سبز شدن بذر را به طور معنی داری کاهش دهد. در این شرایط تیمارهای پرایم بذر می توانند موثر باشند. اکسید آهن بالک و نانوذره ۶۰-۴۰ نانومتر با غلظت ۸ در هزار برترین تیمارهای پرایم بذر بودند. به طور کلی به نظر می رسد در شرایط تنش شوری، تفاوت معنی داری بین فرم نانوذره و بالک اکسید آهن از نظر تاثیر گذاری بر خصوصیات جوانه زنی و رشد گیاهچه بذر نخود وجود ندارد و با توجه به قیمت بالاتر نانوذرات، مصرف فرم بالک این کود قابل توصیه است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند از حمایت های مالی و تجهیزاتی دانشگاه رازی و شورای ملی نخود ایران در راستای اجرای این طرح قدردانی نمایند.

تعارض منافع

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

Reference

Abbasi, A. R., Entesari, M., & Ebrahimi, A. (2014). Effect of salinity stress on germination parameters, chlorophyll content and antioxidant enzyme activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotype. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(3), 461-472. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2014.53542> (In Persian)

Abdoli, M., Saeidi, M., Azhand, M., Jalali-Honarmand, S., Esfandiari, E., & Shekari, F. (2013). The effects of different levels of salinity and indole-3-acetic acid (IAA) on early growth and germination of Wheat seedling. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9, 329-338.

Alen, S. G., A. K. Dobrenz, M. H. Schonhorst, & Stoner, J. E. (1985). Heritability of NaCl tolerance in germination of Alfalfa seed. *Journal of Agronomy*, 77, 99-101.

<https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700010023x>

Ali, S. A. M., Idris, A. Y., & Mohamed, H. A. (2014). Effect of salinity on germination and early seedling growth of Chickpea (*Cicer Arietinum* L.). *ARPN Journal of Science and Technology*, 4(8), 471-475.

Alirezaei Naqander, M. Azizi, M., & Valizade Qalbek, A. (2013). Studying the effect of salinity stress on the characteristics of seed germination and seedling growth of four improved varieties of medicinal basil. *Journal of Seed Science and Technology*, 2(4), 44-56. (In Persian)

Amiri, M. B., Rezvani Moghaddam, P., Ehyai, H. R., Fallahi, J., & Aghhavan Shajari, M. (2010). Effect of osmotic and salinity stresses on germination and seedling growth indices of artichoke (*Cynaras coolymus*) and purple coneflower (*Echinacea purpurea*). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3, 165-176. (In Persian)

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, 2214-28. <https://doi.org/10.1039/d0en00387e>

Singh, A., & Roychoudhury, A. (2021). Gene regulation at transcriptional and post-transcriptional levels to combat salt stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 173(4), 1556-1572. <https://doi.org/10.1111/ppl.13502>

Ashraf, M. P. J. C., & Harris, P. J. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant science*, 166(1), 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>

Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. C., & Kwon, T. R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in agronomy*, 97, 45-110. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00002-8)

Azadbakht, M., & Balouchi, H. (2020). The effect of melatonin and hydropriming on some physiological characteristics of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed and seedling under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 9(35), 347-358 (In Persian)

- Azarnivand, H., & Jafarian, Z.** (2005). Effect of salinity on seed germination of *Agropyron desertrum* and *Agropyron cristatum*. *Journal of Desert*, 1, 52-61. (In Persian)
- Bakhshandeh, E., & Jamali, M.** (2020). Population-based threshold models: A reliable tool for describing aged seeds response of rapeseed under salinity and water stress. *Environmental and Experimental Botany*, 176, 104077. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104077>
- Bruggink, G. T., Ooms, J. J. J., & Van der Toorn, P.** (1999). Induction of longevity in primed seeds. *Seed Science Research*, 9(1), 49-53. <https://doi.org/10.1017/S0960258599000057>
- Christiansen, A. H., Norman, H. C., & Andreasen, C.** (2022). Utilization of the halophytic shrubs *Atriplex nummularia* Lindl and *Rhagodia preissii* Moq as crops in salt-affected semi-arid regions: How temperature, salinity, seed weight and size affect seed germination. *Frontiers in Plant Science*, 13, 989562. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.989562>
- Dadach, M., Ahmed, M. Z., Bhatt, A., Radicetti, E., & Mancinelli, R.** (2023). Effects of chloride and sulfate salts on seed germination and seedling growth of *Ballota hirsuta* Benth. and *Myrtus communis* L. *Plants*, 12(22), 3906. <https://doi.org/10.3390/plants12223906>
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., Zhang, W., Zhang, B., & Xie, F.** (2020). Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 1-12. <https://doi.org/10.3390/ijms21020618>
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H.** (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology (Netherlands)*, 9(2), 377-409.
- FAO.** (2024). Food and agricultural organization of the united nation, <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
- Fathi, A., & Zahedi, M.** (2014). Effects of foliar application of zinc and iron oxide nano-particles on growth and ionic content of two wheat cultivars under salinity conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(12), 295-305. (In Persian)
- Flowers, T. J., Gaur, P. M., Gowda, C. L., Krishnamurthy, L., Samineni, S., Siddique, K. H., Turner, N.C., Vadez, V., Varshney, R.K., & Colmer, T. D.** (2010). Salt sensitivity in chickpea. *Plant, Cell & Environment*, 33(4), 490-509.
- Forni, C., & Borromeo, I.** (2023). The utilization of seed priming as a tool to overcome salt and drought stresses: is still a long way to go? *Seeds*, 2(4), 406-420. <https://doi.org/10.3390/seeds2040031>
- Gardner, F. P., Pearce, R.B., & Mitchell, R. L.** (1999). *Physiology of crop plants*. Translated by Koocheki, A. and G. Sarmadnia. Mashhad Jahad Daneshgahi Press.
- Ghavami, F., Malboobi, M. A., Ghannadha, M. R., Samadi, B. Y., Mozaffari, J., & Aghaei, M. J.** (2004). An evaluation of salt tolerance in Iranian wheat cultivars at germination and seedling stages. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(2), 453-464. (In Persian)
- Gholami, S., Dehaghi, M. A., Rezazadeh, A., & Naji, A. M.** (2022). Seed germination and physiological responses of quinoa to selenium priming under drought stress. *Bragantia*, 81, 722. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210183>
- Ghoulam, C., & Fares, K.** (2001). Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology*, 29, 357-367.
- Ikic, I., Maricevic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Sarcevic, Z., & Arcevic, H.** (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in creation - grown winter wheats. *Euphytica*, 188, 25 -34. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0735-8>
- International Seed Testing Association (ISTA).** (2003). *Handbook for Seedling Evaluation* (3rd Ed.). International Seed Testing Association.
- International Seed Testing Association (ISTA).** (2016). *International Rules for Seed Testing*, 2, 379.
- Jahanghiri, A., Sadeghzadeh- Ahari, D., Safikhani, M., Pezeshkpour, P., Saeid, A., Sarparast, R., Sabaghpour, S., Karimizadeh, R., Shahriari, D., Bahrami, N., Shabani, A., Mahmoudi, A., Mahmoudi, F., Armyion, M., Kanouni, H., Mahdiyeh, M., Dehnavi, B., Etezadi, F., & Mohammadi, M.** (2015). Adel, a new rainfed chickpea cultivar for autumn planting under moderate cold and semi-warm regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 4(1), 1-13. <https://doi.org/10.22092/rafhc.2015.106539>
- Jamil, M., Lee, D. B., Jung, K. Y., Ashraf, M., Lee, S. H., & Rha, E. S.** (2006). Effect of salt stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *Journal of Central European Agriculture*, 7(2), 273-281.
- Janghel, D. K., Kumar, K., Sunil, R., & Chhabra, A. K.** (2020). Genetic diversity analysis, characterization and evaluation of elite chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 199-209. <https://doi.org/10.20546/ijcm.901.023>
- Kabiri, R., & Naghizadeh, M.** (2015). Study the effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 4(1), 61-72. (In Persian)

- Kamkar, B., Ghaffari, H., & Entesari, M.** (2008). The study of temperature and salinity effects on germination components of canola cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(5), 27-37. (In Persian)
- Kasukabe, Y., He, L.X., Nada, K., Misawa, S., Ihara, I., & Tachibana, S.** (2006). Overexpression of spermidine synthase enhances tolerance to multiple environmental stresses and upregulates the expression of various stress-regulated genes in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology*, 45, 712-22. <https://doi.org/10.1093/pcp/pch083>
- Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, O.** (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Keshavarzi, M., Ashrafi, A., & Razmjoo, Kh.** (2007). Effects of NaCl salinity on seed germination of 7 sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. 1th Seed Science and Technology Seminar Iran, Gorgan. (In Persian)
- Khajeh-Hosseini, M., Powell, A. A. and I. J. Bingham.** 2003. The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soyabean seeds. *Seed Sci. Technol.*, 31(3):715-725. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.20>
- Khalesrou, Sh., & Agha Alikhani, M.** (2008). Effect of salinity and water Deficit stress on seed germination. *Pajouhesh and Sazandegi*, 20(4), 153-163. (In Persian)
- Khan, M. O., Irfan, M., Muhammad, A., Ullah, I., Nawaz, S., Khalil, M. K., & Ahmad, M.** (2022). A practical and economical strategy to mitigate salinity stress through seed priming. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 991977. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.991977>
- Khan, M. A. H., Baset Mia, M. A., Quddus, M. A., Sarker, K. K., Rahman, M., Skalicky, M., Brestic, M., Gaber, A., Alsuhaibani, A. M., & Hossain, A.** (2022). Salinity-induced physiological changes in Pea (*Pisum sativum* L.): germination rate, biomass accumulation, relative water content, seedling vigor and salt tolerance index. *Plants*, 11, 3493. <https://doi.org/10.3390/plants11243493>
- Khan, M. N., Li, Y., Khan, Z., Chen, L., Liu, J., Hu, J., Wu, H., & Li, Z.** (2021). Nanoceria seed priming enhanced salt tolerance in rapeseed through modulating ROS homeostasis and α -amylase activities. *Journal of Nanobiotechnology*, 19, 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01026-9>
- Kharb, V., Sharma, V., Dhaliwal, S. S., & Kalia, A.** (2023). Influence of iron seed priming on seed germination, growth and iron content in rice seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 46(16), 4054-4062. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2220731>
- Krishnamoorthy, R., Anandham, R., Senthikumar, M., & Sa, T.** (2020). Diversity and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of salt-affected soils. In Sharma, S.K., Singh, U.B., Sahu, P.K., Singh, H.V., Sharma, P.K. (eds) rhizosphere microbes. microorganisms for sustainability, 23. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9154-9_18
- Lemmens, E., Deleu, L. J. De Brier, N. De Man, W. L. De Proft, M. Prinsen, E., & Delcour, J. A.** (2019). The impact of hydro-priming and osmo-priming on seedling characteristics, plant hormone concentrations, activity of selected hydrolytic enzymes, and cell wall and phytate hydrolysis in sprouted wheat (*Triticum aestivum* L.). *ACS Omega Journal*, 4(26), 22089-22100. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03210>
- Lopes, L. D. S., Prisco, J. T., & Gomes-Filho, E.** (2018). Inducing Salt Tolerance in Castor Bean through Seed Priming. *Australian Journal of Crop Science*, 12, 943-953. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1011>
- Madadi, M., Khomari, S., Javadi, A., & Sofalian, O.** (2016). Effect of black cumin seed priming with calcium nitrate and nano-zinc oxide on germinability and seedling growth under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5(15),169-179. (In Persian)
- Maguire, J. D.** (1962). Speed of germination, aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2,176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Manchanda, G., & Garg, N.** (2008). Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5), 595-618. <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0173-3>
- Maswada, H. F., Djanaguiraman, M., & Prasad, P. V. V.** (2018). Seed treatment with nano-iron (III) oxide enhances germination, seedling growth and salinity tolerance of sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(6), 577-587. <https://doi.org/10.1111/jac.12280>
- Mazhar, M. W., Ishtiaq, M., Maqbool, M., Ullah, F., Sayed, S. R., & Mahmoud, E. A.** (2023). Seed priming with iron oxide nanoparticles improves yield and antioxidant status of garden pea (*Pisum sativum* L.) grown under drought stress. *South African Journal of Botany*, 162, 577-587. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.09.047>
- Nichols, M. A., & Heydecker, W.** (1986). Two approaches to the study of germination date. *Proceedings of the International Seed Testing Association*, 33, 531-540.
- Ning, X., Lin, M., Huang, G., Mao, J., Gao, Z., & Wang, X.** (2023). Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>

- Ouji, A., El-Bok, S., Mouelhi, M., Younes, M., & Kharrat, M.** (2015). Effect of salinity stress on germination of five Tunisian lentil *Lens culinaris* L. genotypes. *European Scientific Journal*, 11, 63–75.
- Pawar, V. A., Ambekar, J. D., Kale, B. B., Apte, S. K., & Laware, S. L.** (2019). Response in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedling growth to seed priming with iron oxide nanoparticles. *International Journal of Biosciences*, 14, 82-91. <https://doi.org/10.12692/ijb/14.3.82-91>
- Rahnama-Ghahfarokhi, A., & Tavakkol-Afshari, R.** (2007). Methods for dormancy breaking and germination of galbanum seeds (*Ferula gummosa*). *Asian Journal of Plant Science*, 6, 611-616. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.611.616>
- Rhaman, M. S., Imran, S. Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C. Murata, Y., & Hasanuzzaman, M.** (2020). Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10, 37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>
- Riaihinia, S., & Danaeipour, Z.** (2022). Evaluation of the effect of nano and chelated iron fertilizer in Salicornia under salinity stress. *Journal of Plant Research, (Iranian Journal of Biology)*, 35(1), 174-188. (In Persian)
- Rout, G. R., & Sahoo, S.** (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1-24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
- Safarnejad, A., Salami M.R., & Hamidi, H.** (2008). Morphological characterization of medicinal plants (*Plantago ovata*, *Plantago psyllium*) in response to salt stress. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 75, 152-160. (In Persian)
- Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W. A.** (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24, 1192-1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183x002>
- Setayeshmehr, Z., & Esmailzadeh, S.** (2013). Effect of salt stress on some phenological and biochemical characteristics in *Coriandrum sativum* L. *Journal of Plant Production*, 20(3), 111-126. (In Persian)
- Sghayar, S., Debez, A., Lucchini, G., Abruzzese, A., Zorrig, W., Negrini, N., Morgutti, S., Abdelly, C., Sacchi, G. A., Pecchioni, N. & Vaccino, P.** (2023). Seed priming mitigates high salinity impact on germination of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving carbohydrate and protein mobilization. *Plant Direction*, 7(6), 497. <https://doi.org/10.1002/pld3.497>
- Shin Y. K., Bhandari S. R., Cho M. C., & Lee, J. G.** (2020). Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown under different salt stress conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61, 433–443. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00231-z>
- Shtaya, M. J., Al-Fares, H., Qubbaj, T., Abu-Qaoud, H., & Shraim, F.** (2021). Influence of salt stress on seed germination and agromorphological traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Research*, 44(12), 1455-1459. <https://doi.org/10.18805/LR-633>
- Soltani, E., Akram Ghaderi, F., & Memar, H.** (2008). The effect of priming on germination components and seedling growth of cotton seeds under drought. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(5), 9-16. (In Persian)
- Stanislav, V., Isayenkov, S. V., & Maathuis, F. J.** (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10, 435515. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>
- Tamartash, R. Shokrian, F., & Kargar, M.** (2011). Investigating the effect of salinity and drought stress on the germination characteristics of Barasim clover seeds. *Marta Science and Research Journal*, 4(2), 288-297. (In Persian)
- Tarchoun, N., Saadaoui, W., Mezghani, N., Pavli, O. I., Falleh, H., & Petropoulos, S. A.** (2022). The effects of salt stress on germination, seedling growth and biochemical responses of Tunisian squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) germplasm. *Plants*, 11(6), 800. <https://doi.org/10.3390/plants11060800>
- Upadhyaya H. D., Bajaj D., Narnoliya L., Das S., Kumar V., & Gowda, C. L. L.** (2016). Genome-wide scans for delineation of candidate genes regulating seed-protein content in Chickpea. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00302>
- USDA.** (2021). <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html>. (Accessed august 30:2021). <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00302>
- Wiszniewska, A.** (2021). Priming strategies for benefiting plant performance under toxic trace metal exposure. *Plants*, 10, 623. <https://doi.org/10.3390/plants10040623>
- Yildirim, E., & Guvenc, I.** (2006). Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(5), 347-353.
- Zamani, S., Ghasemnezhad, A., Alizadeh, M., & Alami, M.** (2018). Effect of salinity and salicylic acid on morphological and photosynthetic pigments changes of callus of Artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Crop Breeding*, 10(26), 128-138. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.10.26.128>
- Zenli, A., Soltani, A., & Galeshi, S.** (2002). Components of seed germination response to salinity stress in oilseed rape. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 32, 145-137. (In Persian)