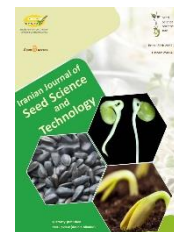




## Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

### Research Article

# Investigating the effect of seed coating with biochar and activated carbon on some indicators of germination and vigor of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under salinity stress

Parimah Shokouhi Nasab<sup>1</sup>, Hamidreza Balouchi<sup>2\*</sup> , Ali Moradi<sup>3</sup> , Mohsen Movahhedi Dehnavi<sup>2</sup> 

1. M.Sc. student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
2. Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

### Article Information

Received: 13 Feb. 2023  
Revised: 22 Oct. 2023  
Accepted: 30 Oct. 2023

#### Keywords:

Hydrogen peroxide,  
Proline,  
Seed coat,  
Germination percentage,  
Sodium chloride

Corresponding Author:  
[balouchi@yu.ac.ir](mailto:balouchi@yu.ac.ir)



### Abstract

This experiment was conducted in order to investigate the effect of seed coating with biochar and activated carbon on some quinoa seed germination indicators, and it was implemented as a factorial in the form of a completely randomized design with four replications in 2019, in Yasouj University's Faculty of Agriculture. The first factor is seed coating in four levels (no coating, coating with activated carbon, coating with biochar and coating with activated carbon + biochar) and the second factor includes salinity stress in four levels (zero, 75, 150 and 225 mM sodium chloride). The results of the interaction of salinity stress and seed coating showed that the highest content of soluble sugar (28.578 mg/g seed FW) and malondialdehyde (2.97  $\mu\text{mol/g}$  seed FW) was obtained by coating with activated carbon in 150 mM salinity stress. Also, the highest amount of seed hydrogen peroxide (0.18  $\mu\text{mol/g}$  seed FW) and proline (10.49  $\mu\text{mol/g}$  seed FW) at the level of 225 mM sodium chloride was obtained by covering the seeds with biochar and active carbon, respectively. Covering seeds with activated carbon and biochar led to an increase in the length of root and shoot under salt stress conditions. However, under salinity stress conditions, root weight and length vigor index of seed improved more by coating seeds with activated carbon. It can be stated that seed coating can greatly reduce the harmful effects of osmotic stress on germination and biochemical traits in quinoa seedlings and improve seedling growth.

**How to cite this paper:** Shokouhi Nasab, P., Balouchi, H., Moradi, A., & Movahhedi Dehnavi, M. (2024). Investigating the effect of seed coating with biochar and activated carbon on some indicators of germination and vigor of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (3), 1-18. <https://doi.org/10.22092/ijst.2023.361477.1475>



© 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

Germination is one of the most important stages of plant growth, which can be affected by non-living environmental stresses such as salinity. Salinity, by reducing the osmotic potential of the environment, toxicity, and changes in enzyme activities, causes a decrease in water absorption by seeds and results in a decrease in germination. The use of treatments with biological origin in the form of seed coating treatment significantly improves plant performance. Biochar and activated carbon have a biological origin and are being considered today due to their non-toxicity and importance for human health and the environment. The quinoa plant is able to produce seeds with high food quality despite growing in very polluted and stressful environments. But the germination, greening and establishment of quinoa seeds, like many crops and weeds, is delayed due to water salinity. The most important problem of quinoa is the greening and initial establishment of the plant with saline water sources. Therefore, in this study, the germination of quinoa seeds coated with biochar and activated carbon under salt stress was investigated.

### Materials and Methods

This factorial experiment in the form of a completely randomized design with four replications was implemented in Yasouj University in 2019. The first factor is seed coating at four levels (no coating, coating with activated carbon, coating with biochar and coating with active carbon + biochar) and the second factor includes salinity stress at four levels (zero, 75, 150 and 225 mM chloride sodium). After drying the coatings, 25 seed samples were transferred in 4 replicates in petri dishes with a filter paper bed, and to complete seed cultivation, 5 ml of distilled water for the control treatment or sodium chloride solution for each salt stress treatment was added to each petri dish. The seed coats were separated from the seeds after 24 hours. Seeds were germinated inside the germinator at a temperature of  $25\pm 1$  degrees Celsius for 7 days under dark conditions. The seeds whose root length was at least 2 mm were counted as germinated seeds from the first day. At the end of the 7-day period, after counting the number of germinated seeds, 5 seedlings were randomly selected from each petri dish, and the stem length and root length (in millimeters) were measured with a ruler. To measure the dry weight of roots and stems, the samples were placed in an oven at 75 degrees Celsius for 48 hours and then weighed. Traits such as germination percentage,

germination speed, stem length index, length and weight of radicle and shoot were measured.

### Results and discussion

The results of the interaction between salinity stress and seed coating showed that the highest content of soluble sugar (28.578 mg/g seed wet weight) and malondialdehyde (2.97 micromol/g seed wet weight) was obtained with seed coating. Salinity stress was observed with activated carbon at the level of 150 mM. Also, the highest amount of hydrogen peroxide (0.18  $\mu\text{mol/g}$  seed wet weight) and seed proline (10.49  $\mu\text{mol/g}$  seed wet weight) at the level of 225 mM sodium chloride was obtained by coating seeds with biochar and active carbon, respectively. Covering seeds with activated carbon and biochar led to an increase in the length of root and shoot under salt stress conditions. However, under salinity stress conditions, root weight and length index of seed stem improved more by coating seeds with activated carbon.

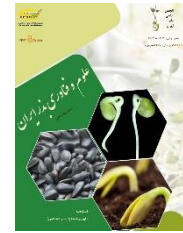
One of the adaptive responses to salinity stress is the accumulation of soluble organic substances to maintain osmotic balance. Soluble sugars accumulate as compatible osmolytes under salt stress conditions and play the role of protective factors in plants. The increase of proline in plants under osmotic stress is an adaptation to overcome these conditions. In the current research, in the salinity stress levels, coating with activated carbon by improving the cell repair systems were able to clean the radicals produced by the salinity stress by activating the antioxidant enzymes and reducing the amount of hydrogen peroxide. Also, the delay in root emergence in the cover treatments decreased the percentage and speed of germination, since activated carbon has a great potential to improve seed germination and plant growth, probably this factor increases the length index of seedling stems.

### Conclusion

Seed coating with activated carbon and biochar were able to moderate the osmotic effects caused by salinity stress by improving seedling parameters such as root and shoot length, root dry weight and shoot dry weight. It was also found that coating with activated carbon increased the stem length index of quinoa seedlings. In this way, it can be said that to deal with the negative effects of environmental stresses, especially salt stress, seed coating with activated carbon and biochar can be used, and in this way, the germination and seedling indices of quinoa seeds under salt stress can be improved.



## نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

بررسی اثر پوشش دار کردن بذر با بیوچار و کربن فعال بر برخی شاخص های جوانه زنی و بنبه بذر کینوا (*Chenopodium quinoa*) تحت تنش شوریپری ماه شکوهی نسب<sup>۱</sup>، حمیدرضا بلوچی<sup>۲\*</sup>، علی مرادی<sup>۳</sup>، محسن موحدی دهنوی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

## واژه های کلیدی:

پراکسید هیدروژن،

پرویلین،

پوشش بذر،

درصد جوانه زنی،

کلرید سدیم

## نویسنده مسئول:

[balouchi@yu.ac.ir](mailto:balouchi@yu.ac.ir)

این آزمایش به منظور بررسی اثر پوشش دار کردن بذر با بیوچار و کربن فعال بر برخی شاخص های جوانه زنی بذر کینوا، انجام شد و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۹، در دانشگاه یاسوج به اجرا درآمد. عامل اول پوشش دار کردن بذر در چهار سطح (بدون پوشش، پوشش دار کردن با کربن فعال، پوشش دار کردن با بیوچار و پوشش دار کردن با کربن فعال + بیوچار) و عامل دوم شامل تنش شوری در ۴ سطح (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم) بود. نتایج برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر نشان داد، بیشترین محتوای قند محلول (۲۸/۵۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر بذر) و مالون دی آلدئید (۲/۹۷ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) با پوشش دار کردن بذر با کربن فعال در سطح ۱۵۰ میلی مولار تنش شوری مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار پراکسید هیدروژن (۰/۱۸ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) و پرویلین بذر (۱۰/۴۹ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) در سطح ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم به ترتیب با پوشش دار کردن بذر با بیوچار و کربن فعال بود. پوشش دار کردن بذر با کربن فعال و بیوچار منجر به افزایش طول ریشه چه و ساقه چه در شرایط تنش شوری گردید. اما در شرایط تنش شوری وزن ریشه چه و شاخص طولی بنبه بذر با پوشش دار کردن بذر با کربن فعال بیشتر بهبود یافت. می توان بیان نمود که پوشش دار کردن بذر می تواند به میزان زیادی اثرات مضر ناشی از تنش اسمزی بر صفات جوانه زنی و بیوشیمیایی را در گیاهچه کینوا کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

## نحوه استناد به این مقاله:

Shokouhi Nasab, P., Balouchi, H., Moradi, A., & Movahhedi Dehnavi, M. (2024). Investigating the effect of seed coating with biochar and activated carbon on some indicators of germination and vigor of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (3), 1-18. <https://doi.org/10.22092/ijst.2023.361477.1475>

## مقدمه

با توجه به روند روز افزون افزایش جمعیت در ایران، افزایش تولید محصولات کشاورزی اجتناب ناپذیر و ایجاد امنیت غذایی و تأمین نیاز غذایی مردم با استفاده از پتانسیل‌های تولید محصول، امری بدیهی است (Jumrani & Bhatia, 2018). همچنین امکان استفاده از آب‌های شور به دلیل محدودیت منابع آبی و با توجه به وسعت مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (Bhatt et al., 2016). شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک تمام مراحل رشد و نمو گیاه از جوانه‌زنی تا تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zörb et al., 2019). جوانه‌زنی یکی از مهمترین مراحل رشد گیاه است که می‌تواند تحت تاثیر تنش‌های غیرزنده محیطی مانند شوری دچار مشکل گردد. شوری، با کاهش پتانسیل اسمزی محیط، سمیت و تغییرات فعالیت‌های آنزیمی موجب کاهش جذب آب توسط بذر شده و کاهش جوانه‌زنی را به دنبال دارد (Mousavi et al., 2022).

کینوا (*Chenopodium quinoa*) یک گیاه شور دوست اختیاری از خانواده Chenopodiaceae است و قادر است در خاک‌هایی با درجه شوری بسیار بالا (شوری بالای ۵۲ دسی‌زیمنس بر متر) رشد کند (Garcia et al., 2015) و توانایی تحمل تا شوری سطح دریا (شوری ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) را دارد (Adolf et al., 2012). گیاه کینوا با وجود رشد در محیط‌های بسیار آلوده و پر تنش قادر به تولید دانه با کیفیت غذایی بالا است. اما جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار بذور کینوا همانند بسیاری از گیاهان زراعی و علف‌های هرز به علت شوری آب به تأخیر می‌افتد (Hariadi et al., 2011). از جمله اثرات تنش شوری بر گیاه هالوفیت کینوا می‌توان به روند کاهش درصد جوانه‌زنی بذر، عملکرد و کیفیت دانه در اثر افزایش شوری اشاره کرد (Panuccio et al., 2014).

Seilsepour (2021) مشاهده نمود بیشترین درصد جوانه‌زنی کینوا در تیمار شاهد (بدون تنش) با ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی به دست آمد، در حالی که درصد جوانه‌زنی در تنش شوری آب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱/۴، ۴/۹، ۱۴/۳ و ۲۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. (Ansari Ardali et al., 2021) اثر تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی کینوا را مورد بررسی

قرار دادند و نتایج نشان داد در تیمار شاهد بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را به ترتیب با میانگین ۵/۵۳ و ۵/۵۷ سانتی‌متر نشان داد. این در حالی بود که در تیمار شوری ۵۰ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۴ و ۰/۳ سانتی‌متر کم‌ترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را داشت. پژوهش (Shakeri et al., 2022) روی گیاه کینوا حاکی از افزایش معنی‌دار فعالیت مالون‌دی‌آلدئید با افزایش تنش شوری بود. (Derbali et al., 2020) مشاهده نمودند در شرایط تنش شوری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به‌عنوان شاخص‌های دفاعی در گیاه کینوا افزایش یافت.

بنابراین لازم است با استفاده از روش‌های موجود، جوانه‌زنی کینوا تحت تنش شوری بهبود یابد (Afzal et al., 2008). یکی از این روش‌ها استفاده از پوشش‌دار کردن بذر است. پوشش‌دار کردن یکی از فناوری‌های بهبود و افزایش کارآیی بذر می‌باشد که به منظور کاهش تنش‌های محیطی اعم از زنده و غیرزنده و برای استقرار هرچه بهتر گیاه در محیط انجام می‌شود (Accinelli et al., 2018). هدف از پوشش‌دار کردن امکان استقرار بهتر و آسان‌تر بذر، تغییر ظاهر و اندازه بذر، جلوگیری از خورده شدن بذر توسط جانوران، امکان کشت تأخیری گیاهان در اقلیم نامناسب، تغییر در دسترسی به رطوبت بذر و افزایش رشد ریشه می‌باشد (Moomeni, 2017).

استفاده از تیمارهایی با منشأ زیستی در قالب تیمار پوششی بذر، موجب بهبود چشمگیر کارکرد گیاه می‌گردد (Javadi, 2020). بیوچار و کربن فعال دارای منشأ زیستی بوده و به دلیل غیرسمی بودن و اهمیت آن‌ها برای سلامتی انسان و محیط زیست امروزه مورد توجه قرار گرفته‌اند. بیوچار نوعی ماده آلی غنی از کربن می‌باشد که از زیست‌توده‌های گیاهی مانند کاه و کلش گندم، ذرت، سبوس برنج، باگاس نیشکر و یا فضولات حیوانی در شرایط دمایی زیاد و اکسیژن کم ایجاد می‌شود (Free et al., 2010). این ماده نسبت به سایر مواد آلی با سرعت تجزیه خیلی کند، ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد. بیوچار به‌علت چگالی کم و تخلخل زیاد با جذب عناصر غذایی محلول و نمک‌ها سبب حفظ عناصر غذایی در خاک می‌گردد. می‌توان از آن کاربردهای متنوع و سودمندی برای اصلاح خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود حاصلخیزی

لیتر ضدعفونی شد. برای انجام آزمایش مواد پوششی (ورمی کولیت، کائولن، پرلیت، بیوچار و کربن فعال) جداگانه با آسیاب (مدل HANIL FM-681) موجود در آزمایشگاه آسیاب شدند. ترکیبات آسیاب شده از الک سایز ۵۰ میکرون عبور داده شدند تا ذرات یکنواخت به دست آمد. با توجه به تیمارهای پوششی مورد نظر و آزمایشات مقدماتی، به ازای هر گرم بذر برای تیمار کربن فعال ۹ گرم کربن فعال و برای تیمار بیوچار ۶ گرم بیوچار را با ترکیبات پرکننده با نسبت‌های ۸ گرم ورمی کولیت، ۲ گرم کائولن، ۴ گرم پرلیت، با ترازو توزین و سپس با اتوکلاو استریل و برای انجام پوشش دهی آماده شدند. از صمغ عربی با غلظت یک گرم در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر به عنوان چسباننده استفاده شد (Piri, 2016). جهت پوشش دار کردن بذرها ابتدا بذرها را بدون تیمار کینوا (۵ گرم) در محفظه دستگاه پوشش دهی بذر (ساخت شرکت اطلس بذر پویشان) قرار گرفتند و با استفاده از پیستوله به طور متناوب ماده چسباننده (صمغ عربی) روی بذرها اسپری شد. جهت اولین پاشش مواد چسباننده به صورت دستی به بذرها اضافه شد. این مراحل در ۱۰ دور متوالی انجام گرفت، به صورتی که در ۵ دور اول اسپری کردن مواد چسباننده و اضافه نمودن مواد پوششی به بذرها روی دور کند (۳۰ دور در دقیقه) جهت بهتر چسبیدن مواد پوششی و پر کردن سطوح ناهموار بذر کینوا بود. در ۵ دور نهایی دستگاه روی دور تند (۵۰ دور در دقیقه) تنظیم شد و هدف از انجام این مرحله شکل دهی یکنواخت و منظمی به بذرها بود. در مرحله آخر یک لایه مواد چسباننده روی بذرها پوشش دار شده اسپری شد تا پوشش مورد نظر محکم شود. در طی پوشش دهی جهت بهتر چسبیدن مواد پوششی به بذرها از دمنده استفاده شد. زمانی که بذرها شکل منظمی به خود گرفتند برای خشک کردن، آن‌ها را از دستگاه خارج نموده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و جریان هوای آزاد قرار گرفتند. قطر بذرها بدون پوشش ۱ میلی متر و با پوشش ۲-۳ میلی متر بود.

پس از خشک شدن پوشش‌ها، نمونه‌های ۲۵ عددی بذر در ۴ تکرار در ظروف پتری با بستر کاغذ صافی منتقل شدند و برای اتمام کشت بذرها، در هر پتری به میزان ۵ میلی لیتر آب مقطر جهت تیمار شاهد یا محلول کلرید سدیم متعلق به هر تیمار تنش

خاک، کاهش آلودگی آب و خاک و مقابله با اثرات نامطلوب تغییر اقلیم از طریق ترسیب کربن مورد استفاده قرار داد (Rózyło et al., 2017).

کربن فعال، مواد کربنی با سطح ویژه و تخلخل زیاد است که با ظرفیت جذب زیاد تبدیل به پر مصرف‌ترین جاذب صنعتی شده است. کربن فعال اغلب از مواد خام مانند پوسته نارگیل، چوب، زغال سنگ و مواد نفتی و از دو روش حرارتی و شیمیایی ساخته می‌شود و انواع کربن فعال شامل پودری، گرانولی و کروی می‌باشد. کربن فعال امروزه به عنوان جاذب برای آفت کش‌ها و به صورت گسترده در سامانه‌های تصفیه آب و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Cao & Li, 2021). با توجه به تولید اقتصادی کینوا با منابع آبی نامتعارف، و تحمل بالای کینوا به تنش شوری، این گیاه برای کشت با منابع آب که قابل استفاده برای گیاهان زراعی معمول نیست انتخاب شد. مهم‌ترین مشکل کینوا سبز شدن و استقرار اولیه گیاه با منابع آبشور است. از این رو در این پژوهش جوانه‌زنی بذر کینوای پوشش‌دار شده با بیوچار و کربن فعال تحت تنش شوری مورد بررسی قرار داده شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۹ در قالب طرح کاملاً تصادفی، با چهار تکرار اجرا شد. عامل اول پوشش‌دار کردن بذر در چهار سطح (بدون پوشش، پوشش‌دار کردن با کربن فعال، پوشش‌دار کردن با بیوچار و پوشش‌دار کردن با کربن فعال+بیوچار) و عامل دوم شامل تنش شوری در ۴ سطح (صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم) بود. بذرها کینوا رقم تیتیکاکا تولیدی سال ۱۳۹۸ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. بیوچار (زغال زیستی) چوب انار و آلو از منطقه شیراز که در شرایط بی‌هوازی و دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت با اجزایی به قطر ۴ میلی متر و ۵ درصد رطوبت، اسیدیته ۸/۲، ۱۳/۸۹ درصد ماده آلی، ۸/۰۶ درصد کربن آلی، ۵/۷۷ درصد منیزیم، ۰/۷۹ درصد نیتروژن، ۰/۱۴ درصد فسفر، ۰/۱۷ درصد پتاسیم، ۴/۲۶ درصد کلسیم و ۲۴/۶ درصد خاکستر تهیه شده بود از شرکت فصل پنجم فرح‌بخش خریداری شد. برای انجام این آزمایش، ابتدا بذرها با قارچ کش متالاکسیل-مانکوزب به نسبت ۰/۵ گرم در

اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید. برای سنجش محتوای مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشای سلولی از روش Heath & Packer (1968) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از ضریب خاموشی ( $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) انجام گردید. سنجش پراکسید هیدروژن با استفاده از روش Loreto & Velikova (2001) انجام و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید. مقایسه میانگین‌های آزمایش با استفاده از آزمون توکی (HSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر پوشش دار کردن، تنش شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر محتوای قندهای محلول، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در سطح احتمال خطای یک درصد و بر محتوای پرولین در سطح احتمال خطای پنج درصد در کینوا دارد (جدول ۱).

### محتوای قندهای محلول

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد از بین تیمارهای برهم‌کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر، بیشترین محتوای قند محلول ( $28/578$  میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر) مربوط به برهم‌کنش سطح  $150$  میلی‌مولار تنش شوری و پوشش دار کردن بذر با کربن فعال بود که باعث افزایش ۱۱ برابری محتوای قند نسبت به تیمار شاهد با داشتن کمترین محتوای قند محلول ( $2/340$  میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر) شد (شکل ۱).

یکی از پاسخ‌های سازشی در مقابل تنش شوری، تجمع مواد آلی محلول برای حفظ تعادل اسمزی می‌باشد. قندهای محلول به عنوان اسمولیت‌های سازگار در شرایط تنش شوری تجمع یافته و نقش عوامل حفاظتی را در گیاهان ایفا می‌کنند. در کل افزایش قندهای محلول در زمان تنش اسمزی را می‌توان به علت ساخته شدن قندها از مسیر غیرفتوستنتری، تجزیه پلی‌ساکاریدها نظیر نشاسته و عدم تبدیل این ترکیبات به محصولات دیگر بیان کرد

شوری اضافه گردید. پوشش‌های بذر بعد از ۲۴ ساعت از بذر جدا شدند. جوانه‌زنی بذرها در داخل ژرمیناتور با دمای  $25 \pm 1$  درجه سلسیوس به مدت ۷ روز تحت شرایط تاریکی انجام شد (Karami et al., 2020). شمارش بذرهایی که حداقل طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر بود به عنوان بذر جوانه‌زده از روز اول صورت گرفت (Miller & Chapman, 1978). در پایان دوره ۷ روزه پس از شمارش تعداد بذره‌های جوانه‌زده، از هر پتری ۵ عدد گیاهچه به صورت تصادفی انتخاب شد و طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه (برحسب میلی‌متر) با خط کش اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، نمونه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده و سپس توزین شدند (Akramian et al., 2007).

صفتی از قبیل درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲)، شاخص طولی بنیه (رابطه ۳)، طول و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد.

رابطه (۱): درصد جوانه‌زنی (GP) (Ikic et al., 2012)

$$GP = (n / N) \times 100$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n: مجموع کل بذره‌های جوانه‌زده در

پایان آزمایش، N: کل بذره‌های کاشته شده

رابطه (۲): سرعت جوانه‌زنی (GR) (Verma et al., 2005)

$$GR = \sum \frac{ni}{ti}$$

ni: تعداد بذره‌های جوانه‌زده در هر روز، ti: تعداد روزها پس

از شروع آزمایش

رابطه (۳): شاخص بنیه طولی گیاهچه (Abdul-Baki &

(Anderson, 1973)

= شاخص طولی بنیه گیاهچه

$$100 / (\text{طول گیاهچه (میلی‌متر)} \times \text{درصد جوانه‌زنی استاندارد})$$

برای اندازه‌گیری قند محلول بذر از روش Irigoyen et al. (1992) استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید. محتوای پرولین نمونه‌ها با استفاده از روش Paquin & Le Chasseur (1979) اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از



۴۰/۸ درصدی قند محلول شد که کاربرد بیوچار باعث بهبود ۷/۳۲ درصدی قند محلول از طریق کاهش آسیب اکسیداتیو به وسیله ی کاهش جذب سدیم و پراکسیداسیون لیپید تحت تنش شوری شد. همچنین به نظر می رسد در پژوهش حاضر پوشش دار کردن بذر کینوا با کربن فعال به بذر کمک کرده است با افزایش قندهای محلول بذر، پتانسیل اسمزی خود را با محیط اطراف سازگار کند و این عمل باعث جذب بیشتر آب، ایجاد مقاومت و کمتر شدن آسیب های ناشی از تنش شوری شود.

(Vurukonda et al., 2016). نتایج پژوهش Heidari et al. (2021) روی گیاه کینوا نشان داد تنش شوری در مقایسه با شاهد قندهای محلول را افزایش داد. آن ها بیان نمودند که افزایش میزان تنش شوری در گیاهان موجب افزایش فعالیت آنزیم ساکارز سنتتاز شده و قندهای ساده و مرکب را به عنوان تنظیم کننده های اسمزی و محلول های سازگار برای مقاومت در برابر تنش شوری تولید می کنند. در آزمایش (Farooq et al., 2015)، تنش شوری باعث کاهش

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پوشش و تنش شوری برای برخی صفات بیوشیمیایی بذر کینوا

Table 1- analysis of variance effect of different levels of coating and salinity stress for some biochemical traits of quinoa seeds

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای قندهای محلول Soluble sugars content	محتوای پرولین Proline content	مالون دی آلدهید Malondialdehyde	پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide
پوشش (A) Coating	3	372.38**	13.535**	3.967**	0.022**
شوری (B) Salt	3	297.98**	18.150**	1.043**	0.007**
اثر متقابل A×B Interaction	9	116.39**	6.664*	0.597**	0.002**
خطا Error	48	5.92	3.14	0.142	0.0004

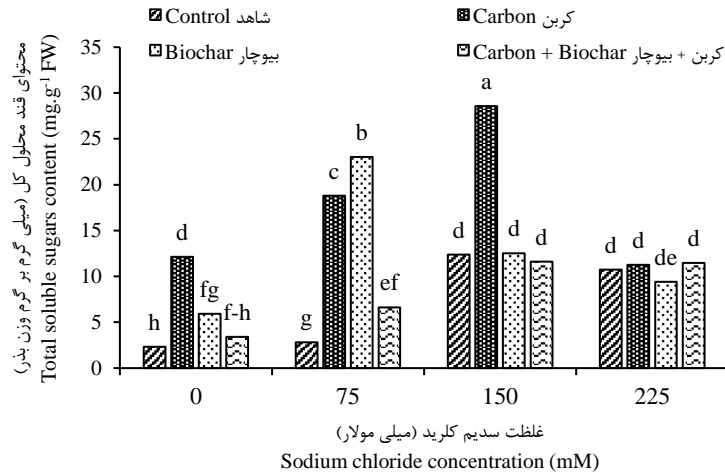
\* و \*\* به ترتیب معنی داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

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

اسمزی را داشته باشد (Behboudi et al., 2018). نتایج پژوهش Heidari et al. (2021) روی گیاه کینوا نشان داد تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد و پرولین را (۳۳ و ۱۵ درصد) را افزایش داد. کاربرد مواد آلی مانند کربن فعال و بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداری آب برای گیاه و فراهمی عناصر نیتروژن، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و کاهش سدیم در شرایط تنش شوری شرایط بهتر رشد را برای گیاه فراهم می تواند بر میزان پرولین در گیاه تاثیر داشته باشد (Rezaei et al., 2018). در پژوهش حاضر کربن فعال اثر افزایشی بیشتری نسبت به بیوچار بر محتوای پرولین بذر داشته است و توانسته از کارا تر عمل کند.

### محتوای پرولین بذر

از بین تیمارهای مورد مطالعه برهم کنش سطح ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم در پوشش دار کردن بذر با کربن فعال که دارای بیشترین محتوای پرولین بود (۱۰/۴۹ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) باعث افزایش ۹۹ درصدی محتوای پرولین نسبت به برهم کنش سطح ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم در پوشش دار کردن ترکیبی بذر با کربن فعال + بیوچار که دارای کمترین مقدار پرولین (۵/۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) بود، شد (شکل ۲). تجمع پرولین موجب حفظ تعادل اسمزی بافت های گیاه در شرایط تنش شده و به عنوان ذخیره ای برای انرژی و نیتروژن در شرایط تنش استفاده می شود (Derbali et al., 2020). افزایش پرولین در گیاهان تحت تنش اسمزی، نوعی سازگاری برای غلبه بر این شرایط می باشد. در شرایط تنش پرولین می تواند عملکردهای متفاوتی مانند تثبیت ساختارهای درون سلولی و حذف رادیکال های آزاد، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، و ایجاد تعادل

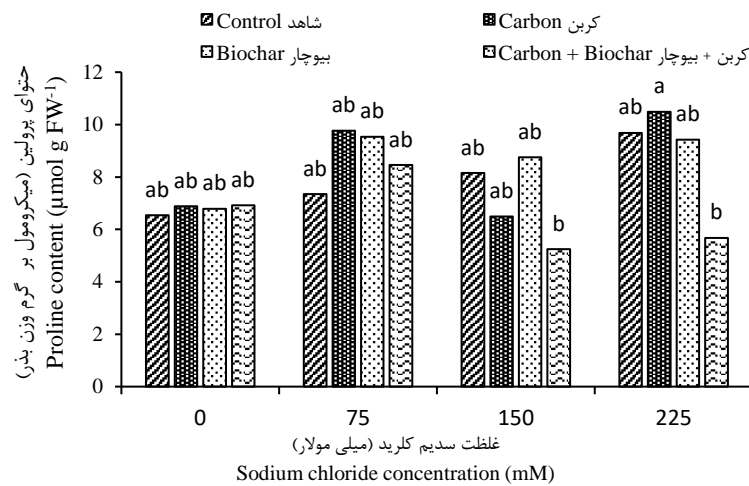


شکل ۱- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای محتوای قند محلول کل بذر کینوا

Figure 1 - Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for total soluble sugar content of quinoa seeds.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای محتوای پرولین بذر کینوا

Figure 2 - Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for proline content of quinoa seeds.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

### محتوای مالون دی آلدهید بذر

سدیم در عدم پوشش دار کردن بذر بود، باعث افزایش ۷ برابری مالون دی آلدهید شد (شکل ۳).

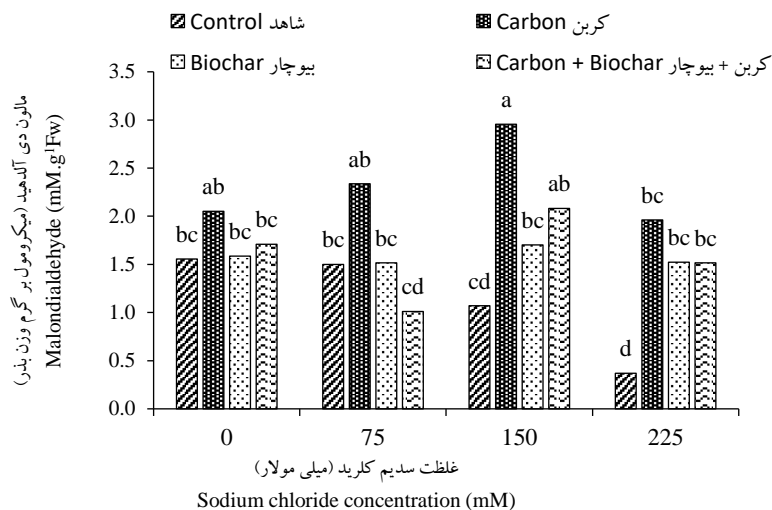
در بسیاری از تنش‌های محیطی غشای سلولی یکی از هدف‌های اولیه به شمار می‌رود و یکی از نشانه‌های تحمل ثبات غشا در شرایط تنش می‌باشد؛ بنابراین اندازه‌گیری میزان نشت یونی و مالون دی آلدهید تولید شده در پراکسیداسیون لیپیدها،

بیشترین فعالیت مالون دی آلدهید (۲/۹۷ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) از برهم کنش سطح ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم در پوشش دار کردن بذر با کربن فعال به دست آمد که نسبت به کم‌ترین مقدار مالون دی آلدهید (۰/۳۷ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) که مربوط به برهم کنش سطح ۲۲۵ میلی مولار کلرید



افزایش معنی دار فعالیت مالون دی آلدئید با افزایش تنش شوری بود.

شاخص خوبی برای اندازه گیری میزان آسیب اکسیداتیو وارد شده به غشا هستند (Bhardwaj et al., 2012). در همین ارتباط، نتایج پژوهش (Shakeri et al. (2022) بر روی گیاه کینوا حاکی از



شکل ۳- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای محتوای مالون دی آلدئید بذر کینوا.

Figure 3- Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for malondialdehyde content of quinoa seeds. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

نسبت به برهم کنش سطح ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم در پوشش دار کردن بذر با کربن فعال که دارای کمترین مقدار پراکسید هیدروژن (۰/۰۴۶ میکرومول بر گرم وزن تر) بود، صفت مذکور را ۳ برابر افزایش داد (شکل ۴). پراکسید هیدروژن در مقادیر کم به عنوان جزء فعال دفاعی گیاه و یک مولکول پیام‌رسان برای واکنش‌های متابولیک مختلف عمل می‌کند. از این رو، ممکن است نقش مهمی در انتقال پیام‌ها به سلول‌های گیاهی اطراف برای شروع مقاومت سیستمیک اکتسابی داشته باشد. با افزایش تنش شوری تجمع بیشتر پراکسید هیدروژن موجب آسیب به ساختارهای سلول مثل غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Kumaraswamy et al., 2019). (Derbali et al. (2020) مشاهده نمودند در شرایط تنش شوری فعالیت پراکسید هیدروژن در گیاه کینوا افزایش یافت. با توجه به سمی بودن پراکسید هیدروژن برای سلول‌ها این ماده باید به سرعت به آب و اکسیژن تبدیل شود. در غیر این صورت با پراکسیداسیون لیپیدها به غشا سلولی، می‌تواند به ساختمان DNA و پروتئین‌ها آسیب

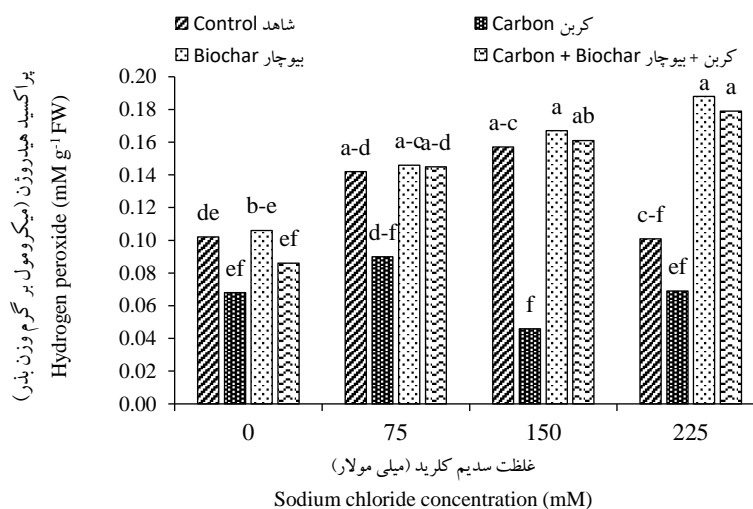
در این پژوهش بالا بودن میزان فعالیت مالون دی آلدئید در تیمارهای پوشش با کربن فعال و بیوچار احتمالاً به این دلیل است که تیمارهای پوششی نتوانستند تحت شرایط تنش شوری سبب بهبود روند واکنش‌های فیزیولوژیکی در بذر شوند و میزان سدیم جذب شده توسط کربن فعال و بیوچار بیشتر از تیمارهای بدون پوشش بوده و در نتیجه در این بذرها به طور قابل ملاحظه‌ای محتوای مالون دی آلدئید افزایش یافته است. دلیل دیگر افزایش محتوای مالون دی آلدئید در تیمار غظت ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم + پوشش دار کردن بذر با کربن فعال را می‌توان به کم تر بودن محتوای پرولین (شکل ۲) در این تیمار دانست که با کاهش محتوای پرولین بذر مقاومت کمتری در بذر به وجود آمده و محتوای مالون دی آلدئید در این تیمار افزایش یافته است.

#### محتوای پراکسید هیدروژن بذر

از بین تیمارهای مورد مطالعه برهم کنش سطح ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم در پوشش دار کردن بذر با بیوچار بیشترین مقدار پراکسید هیدروژن (۰/۱۸ میکرومول بر گرم وزن تر) را داشت که

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر پوشش دار کردن، تنش شوری و برهم کنش آن‌ها بر صفات درصد جوانه‌زنی، وزن خشک ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال خطای پنج درصد و بر سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و شاخص طولی بینه گیاهچه در سطح احتمال خطای یک درصد معنی دار شد (جدول ۲).

وارد کند و مانع فرآیند فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های دیگر گردد (Gupta & Gupta, 2005). در پژوهش حاضر در سطوح تنش شوری پوشش دار کردن با کربن فعال دارای کمترین میزان پراکسید هیدروژن بود. احتمالاً این تیمار پوششی با بهبود سیستم‌های ترمیم سلولی توانستند با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان رادیکال‌های تولید شده ناشی از تنش شوری را پاکسازی کنند و سبب کاهش میزان پراکسید هیدروژن شوند.



شکل ۴- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای محتوای پراکسید هیدروژن بذر کینوا.

Figure 4- Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for Hydrogen peroxide content of quinoa seeds. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف پوشش و تنش شوری برای برخی صفات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر کینوا

Table 2- analysis of variance effect of different levels of coating and salinity stress for some Seed germination and seedling traits of quinoa seeds

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Shoot length	وزن خشک ریشه‌چه Root dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Shoot dry weight	شاخص طولی بینه گیاهچه Seedling length vigor index
پوشش (A) coating (A)	3	3992.66**	175.12**	129.99**	1412.94**	0.10**	0.01 <sup>ns</sup>	2466.52**
شوری (B) Salt (B)	3	2288.66**	189.95**	562.78**	2535.98**	0.19**	0.02*	7573.76**
اثر متقابل Interaction A×B	9	222.22 *	4.65 **	68.52**	392.78**	0.02*	0.02*	484.77**
خطا Error	48	88.33	1.52	17.62	103.60	0.008	0.009	104.20

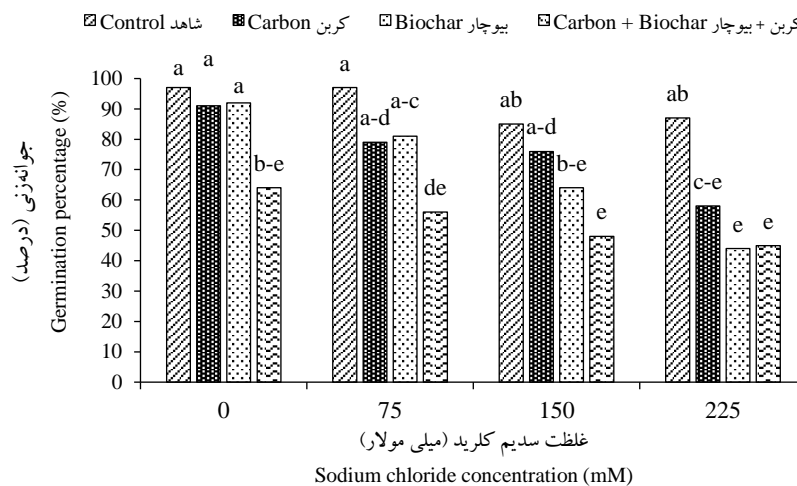
<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی داری در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

<sup>ns</sup>, \* and \*\* represent not significant and significant at 1% and 5% probability, respectively.

### درصد جوانه‌زنی

شد (شکل ۵). تنش شوری باعث کاهش جوانه‌زنی و تأخیر در رشد گیاهچه می‌شود، رشد گیاهچه را کاهش داده باعث کاهش زیست توده می‌شود (Farooq et al., 2015). کاهش رشد و نمو گیاه تحت تنش شوری بطور عمده به دلیل تنش اسمزی، عدم تعادل مواد مغذی، و سمیت یونی خاص می‌باشد که باعث تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Mansoori Gandomani et al., 2017). در پژوهش حاضر با کاربرد غلظت‌های بالای کلرید سدیم از درصد جوانه‌زنی بذر کینوا کاسته شد و تیمارهای پوششی با اعمال تنش شوری نتوانستند موجب افزایش درصد جوانه‌زنی شوند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که با افزایش سطوح تنش شوری و هم‌چنین پوشش‌دار کردن بذر با کربن فعال و بیوجار درصد جوانه‌زنی را کاهش داد. به گونه‌ای که بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر (۹۷ درصد) مربوط به تیمارهای عدم اعمال تنش شوری + بدون پوشش، پوشش با کربن فعال و پوشش با بیوجار و هم‌چنین غلظت ۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم + بدون پوشش بود (شکل ۴-۵). کمترین درصد جوانه‌زنی بذر (۴۴ درصد) نیز مربوط به اثر متقابل بیوجار و سطح ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود که نسبت به شاهد (عدم پوشش‌دار کردن بذر و عدم اعمال تنش شوری) باعث کاهش ۵۴ درصدی جوانه‌زنی بذر



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش شوری و پوشش‌دار کردن بذر برای درصد جوانه‌زنی بذر کینوا

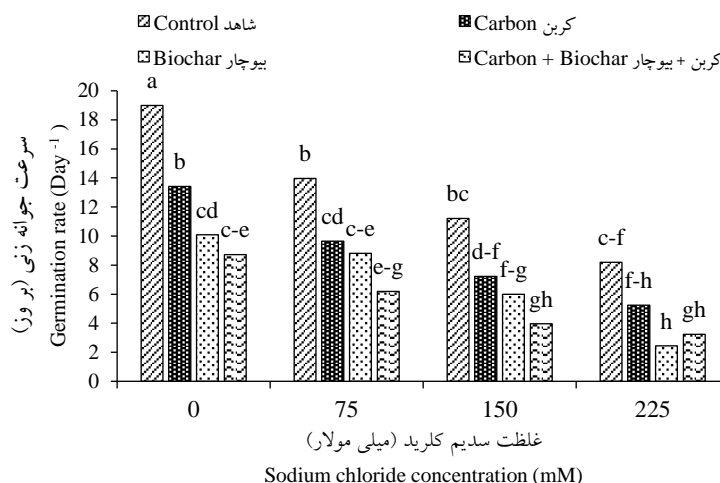
Figure 5- Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for germination percentage of quinoa seeds  
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

### سرعت جوانه‌زنی

تعیین کیفیت بذرهای محصولات زراعی، سرعت جوانه‌زنی می‌باشد و معمولاً با رشد و میزان محصول گیاهان ارتباط مستقیم دارد (Mansoori Gandomani et al., 2017). نتایج پژوهش Piri (2016) نشان داد که تیمار بدون پوشش دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی بود و پوشش‌دار کردن موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی شد. در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد تأخیر در خروج ریشه‌چه در تیمارهای پوششی موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی گردید.

بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۱۸/۹۸ بذر جوانه‌زده در روز) مربوط به تیمار شاهد (عدم پوشش‌دار کردن بذر و عدم تنش شوری) بود (شکل ۶). کمترین (۲/۴۵ بذر جوانه‌زده در روز) میزان این صفت مربوط به تیمار برهم‌کنش بیوجار و غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود که نسبت به تیمار شاهد سرعت جوانه‌زنی بذر را ۸۷ درصد کاهش داد (شکل ۶). از عواقب مهم تنش شوری روی بذر تخریب غشاء سلولی، مختل شدن متابولیسم سلولی و کاهش سرعت جوانه‌زنی است. از پارامترهای مهم در



شکل ۶- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای سرعت جوانه زنی بذر کینوا

Figure 6 - Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for germination rate of quinoa seeds  
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

ساقه‌چه کینوا نسبت به تنش شوری حساس بوده، بنابراین می‌توان گفت که طول ریشه‌چه و ساقه‌چه برای اندازه‌گیری تحمل به تنش شوری معیار مناسبی است.

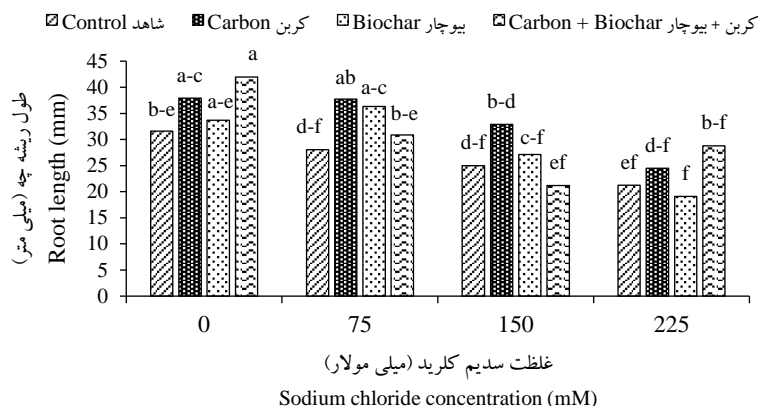
Salek Mearaji et al. (2019)، بیان کرد که دلیل کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاه کینوا تحت تنش شوری می‌تواند ایجاد حالت سمیت در گیاه در غلظت‌های بالای نمک باشد، آن‌ها متذکر شدند که رشد ساقه‌چه نسبت به رشد ریشه‌چه در برابر شوری از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. تنش شوری باعث توقف فعالیت هورمون سیتوکینین شده و همین امر می‌تواند کاهش رشد ریشه‌چه را به دنبال داشته باشد (Ebrahimi et al., 2012). در گزارشی دیگر Carter et al. (2013) کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار طول اندام هوایی و ریشه در کاهو (*Brassica chinensis*) و کلم (*Lactuca sativa*) را افزایش داد. Lehmann et al. (2009) آزمایشی که بر روی گندم انجام دادند، گزارش کردند که استفاده از زغال فعال سبب افزایش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه شد. Zhang et al. (2010) نیز بیان کردند که کاربرد کربن فعال از طریق جذب بهتر عناصر غذایی باعث افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گردید.

### طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

بیشترین (۴۱/۹۵ میلی‌متر) و کمترین (۱۹/۰۷ میلی‌متر) میزان طول ریشه‌چه به ترتیب مربوط به تیمار برهم کنش ترکیب کربن فعال + بیوچار و غلظت صفر کلرید سدیم، و تیمار برهم کنش بیوچار و غلظت ۲۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود (شکل ۷). تیمار برهم کنش ترکیب کربن فعال + بیوچار و غلظت صفر کلرید سدیم نسبت به شاهد (۳۱/۶۳ میلی‌متر) افزایش ۳۳ درصدی طول ریشه‌چه را به دنبال داشت (شکل ۷).

طبق نتایج بدست آمده بیشترین طول ساقه‌چه (۷۶/۶۳ میلی‌متر) مربوط به برهم کنش کربن فعال و غلظت صفر کلرید سدیم و کمترین (۲۴/۹۲ میلی‌متر) آن، مربوط به برهم کنش ترکیب کربن فعال + بیوچار و غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود که به ترتیب باعث افزایش ۶۹ و کاهش ۴۵ درصدی طول ساقه‌چه نسبت به شاهد (۴۵/۲۵ میلی‌متر) شد (شکل ۸).

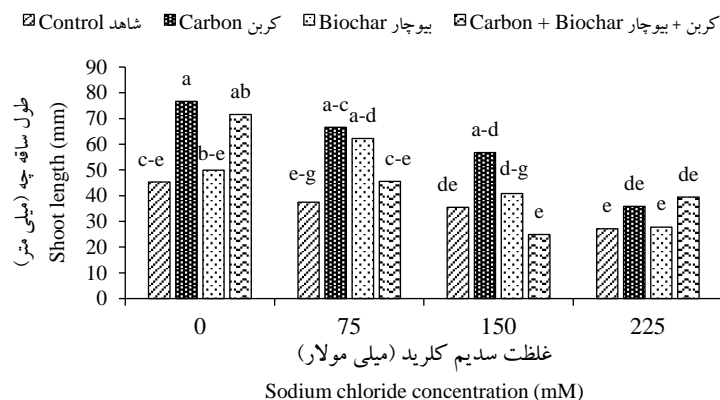
طبق نظر EL-Bassiouny et al. (2007) وظیفه جذب آب و املاح معدنی در گیاهان به عهده ریشه است و تنش شوری بیشتر از ناحیه ریشه به گیاه وارد می‌شود، بنابراین ریشه اولین اندامی است که با تنش شوری مواجه می‌شود. Ebrahimi et al. (2012) بیان نمودند که طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، حساس‌ترین قسمت گیاه نسبت به تنش شوری است. در این پژوهش نیز طول ریشه‌چه و



شکل ۷- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای طول ریشه چه کینوا

Figure 7- Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for root length of quinoa  
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.



شکل ۸- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای طول ساقه چه کینوا

Figure 8 - Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for shoot length of quinoa  
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

### وزن خشک ریشه چه و ساقه چه

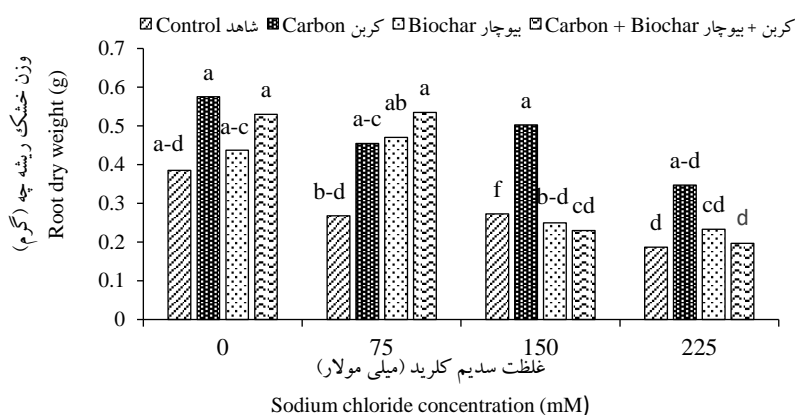
از بین تیمارهای مورد مطالعه، برهم کنش کربن فعال و غلظت صفر کلرید سدیم دارای بیشترین میزان وزن خشک ریشه چه بود (۰/۵۷ گرم) که با تیمارهای برهم کنش پوشش با کربن فعال و بیوجار+ غلظت صفر کلرید سدیم، برهم کنش پوشش با کربن فعال و بیوجار+ غلظت ۷۵ میلی مولار کلرید سدیم و پوشش با کربن فعال+ غلظت ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴-۲۱)، و برهم کنش عدم پوشش دار کردن بذر و غلظت ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم کمترین مقدار وزن خشک ریشه چه (۰/۱۸ گرم) را داشت (شکل ۴-۲۱).

تیمارهای ذکر شده به ترتیب باعث افزایش ۴۹ و کاهش ۵۱ درصدی وزن خشک ریشه چه نسبت به تیمار شاهد (۰/۳۸ گرم) شدند (شکل ۹).

همچنین بیشترین وزن خشک ساقه چه (۰/۶۶ گرم) مربوط به تیمار پوشش با بیوجار+ غلظت کلرید سدیم ۲۲۵ میلی مولار و کمترین مقدار وزن خشک ساقه چه (۰/۳۸۷ گرم) نیز مربوط به تیمار ترکیب کربن فعال+ بیوجار و غلظت ۱۵۰ میلی مولار نمک بود که نسبت به شاهد (۰/۴۴۵ گرم)، صفت مذکور را ۱۳ درصد کاهش داد (شکل ۱۰). کاهش کارایی ریشه چه در تأمین آب و عناصر غذایی

آب در تنش شوری با ممانعت از تقسیم سلولی سبب جلوگیری از رشد گیاهچه شده است زیرا با اثرات اسمزی تنش شوری متناسب با افزایش شوری پتانسیل بالفعل گیاهچه‌ها در جذب آب نسبت به توانایی بالقوه آن‌ها در شرایط بدون تنش کاهش می‌یابد.

برای سایر اندام‌ها گیاهان در تنش شوری، به دلیل مصرف انرژی زیاد در ساختن مواد آلی جهت تنظیم اسمزی منجر به کاهش رشد اندام‌های هوایی و در نهایت لندام‌زایی و تولید ماده خشک خواهد شد و کاهش وزن ریشه‌چه به علت کاهش انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به محور جنینی رخ می‌دهد (Kafi et al., 2009). کاهش جذب

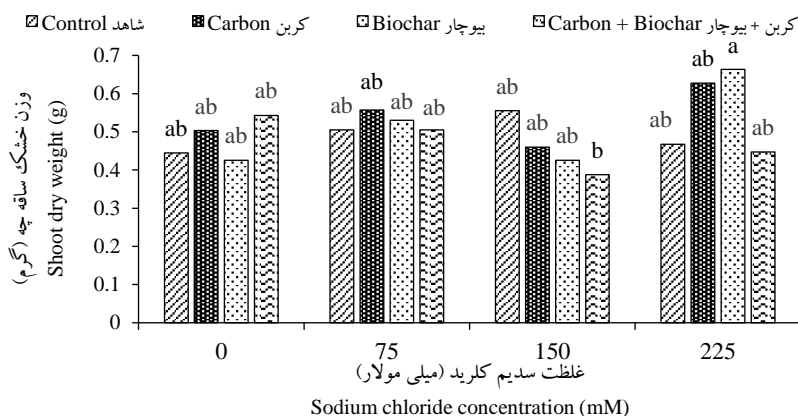


شکل ۹- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای طول ریشه‌چه کینوا

Figure 9 - Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for root dry weight of quinoa

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای وزن خشک ساقه‌چه کینوا

Figure 10 - Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for shoot dry weight of quinoa

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار صفاتی چون زیست‌توده‌ی گیاه، زیست‌توده‌ی ریشه و ارتفاع گیاه در کاهو (*Brassica chinensis*) و کلم (*Lactuca sativa*) را افزایش

بیوچار ممکن است از طریق تحریک رشد گیاه، افزایش تعداد برگ‌ها و ارتفاع گیاه بیوماس گیاه را افزایش دهد (Vaceria et al., 2015). در گزارشی دیگر (Carter et al., 2013)

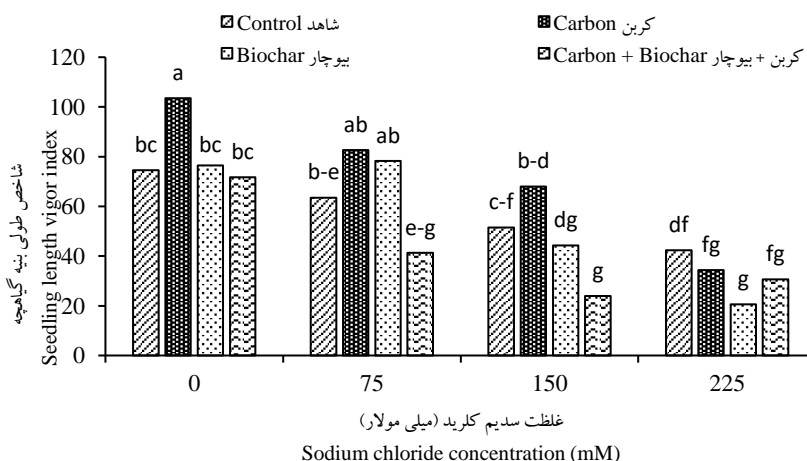


موجود در بیوچار اشاره کرد که در بهبود رشد گیاه نقش دارد (Luo et al., 2014).

### شاخص طولی بنیه گیاهچه

بیشترین شاخص طولی بنیه گیاهچه کینوا (۱۰۳/۴۲) مربوط به برهم کنش کربن فعال و غلظت صفر کلرید سدیم بود که نسبت به تیمار شاهد (۷۴/۵۵) شاخص طولی بنیه گیاهچه را ۳۸ درصد افزایش داد (شکل ۱۱). کمترین بنیه طولی بذر (۲۰/۵۲) مربوط به تیمار برهم کنش بیوچار و غلظت ۲۲۵ میلی مولار کلرید سدیم بود که باعث کاهش ۷۲ درصدی بنیه طولی بذر نسبت به تیمار شاهد (۷۴/۵۵) شد (شکل ۱۱). شاخص های بنیه بذر را می توان به عنوان صفاتی در نظر گرفت که با توجه به نحوه محاسبه آنها دارای ارزش بیشتری در مطالعات جوانه زنی هستند و بیش از صفاتی چون وزن و یا طول گیاهچه ها، به تنهایی بیانگر شرایط توده بذری می باشند. در مطالعه Zadeh Bagheri et al. (2015) بر گیاه ذرت مشخص شد بذرهایی که در شرایط بدون تنش (شاهد) قرار داشتند، بیشترین شاخص بنیه گیاهچه را دارا بودند. افزایش غلظت کلرید سدیم منجر به کاهش صفات مذکور شد. در نتیجه می توان بیان نمود که بذرهایی که در شرایط تنش توانایی تولید گیاهچه هایی با طول بیشتر را داشته باشند در یک زمان معین مقدار ماده خشک بیشتری تولید کرده و از این راه قدرت استقرار خود را در محیط بهبود می دهند.

داد. تغییر در مورفولوژی ریشه و بهبود رشد گیاه در اثر کاربرد بیوچار می تواند به دلیل تغییر در ویژگی های خاک، مانند دسترسی به مواد مغذی بیشتر یا بهبود ظرفیت نگهداری آب توسط خاک است (Hosseini et al., 2011). در پژوهشی که بر اثر بیوچار بر جوانه زنی ۵ گیاه مختلف انجام گرفت، مشخص شد که وزن خشک اندام هوایی در هویج (*Daucus carota*)، خیار (*Cucumis sativus*)، کاهو (*Lactuca sativa*)، جو دو سر (*Avena sativa*) و گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) تحت تاثیر بیوچار افزایش یافت. افزایش میانگین زمان جوانه زنی، طول ساقچه، طول ریشه چه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه چه را می توان به توانایی بیوچار در اثر مثبت آن روی ویژگی های مهم و حیاتی خاک برای جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه مانند جذب مواد مغذی از جمله فسفر، تنظیم pH و بهبود هدایت الکتریکی خاک و فعالیت میکروبی خاک، کاهش اثرات نامطلوب تغییرات آب و هوایی از طریق افزایش ذخایر کربن خاک توسط بهبود خواص فیزیکی شیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیون، افزایش جذب مواد مغذی مانند فسفر، کلسیم، پتاسیم و منگنز دانست (Olszyk et al., 2018). در پژوهشی که بر تاثیر بیوچار بر رشد رویشی و زایشی اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.) انجام گرفت، مشخص شد که زیست توده اندام هوایی و ریشه گیاهچه ها با اضافه کردن ۱ و ۲ درصد بیوچار به طور قابل توجهی افزایش یافت (Bu et al., 2020). از دیگر اثرات مثبت بیوچار بر رشد گیاه می توان به کربن پایدار



شکل ۱۱- مقایسه میانگین برهم کنش تنش شوری و پوشش دار کردن بذر برای شاخص طولی بنیه گیاهچه کینوا.

Figure 11- Mean comparison of the interaction salinity stress and seed coating for seedling length vigor index of quinoa. میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح احتمال خطای پنج درصد بر اساس آزمون HSD ندارند.

Means with at least a common letter, are not significantly different based on HSD (5%) test.

## References

- Abdul-Baki, A., & Anderson, D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13, 630–633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Accinelli, C., Abbas, H. K., & Shier, W. T. (2018). A bioplastic-based seed coating improves seedling growth and reduces production of coated seed dust. *Journal of Crop Improvement*, 32, 318–330. <https://doi.org/10.1080/15427528.2018.1425792>
- Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2012). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>
- Afzal, I., Rauf, S., Basra, S. M. A., & Murtaza, G. (2008). Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. *Plant Soil & Environment*, 9, 382–388. <https://doi.org/10.17221/408-PSE>
- Akramian, M., Hosseini, A., Kazerooni, M., & Rezvani, M. J. (2007). Effect of seed osmopriming on germination and seedling development of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 5(1), 37–46. [In Persian]
- Ansari Ardali, S., Nabipour, M., Roshanfekar, H. A., & Bagheri, M. (2021). Evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) cultivars in saline conditions using germination indices in controlled environment. *Environmental Stress & Crop Science*, 14, 475–475. [In Persian]
- Behboudi, F., Tahmasebi Sarvestan, Z., Kassae, M. Z., Modares Sanavi, A. S., Sorooshzade, A. M., & Ahmadi, S. B. (2018). Evaluation of chitosan nanoparticles effects on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season drought stress. *Journal of Water Environment & Nanotechnology*, 3(1), 22–39.
- Bhardwaj, S. H., Sharma, N. K., Srivastava, P. K., & Shukla, G. (2010). Salt tolerance assessment in alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes. *Journal of Botanical Research*, 3, 1–6. <https://doi.org/10.3923/brj.2010.1.6>
- Bhatt, A., Phondani, P. C., & Pompelli, M. F. (2016). Seed maturation time influences the germination requirements of perennial grasses in the desert climate of the Arabian Gulf. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25, 1562–1567. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.004>
- Bu, X. L., Xue, J. H., Wu, Y., & Wu, W. B. (2020). Effect of biochar on seed germination and seedling growth of *Robinia pseudoacacia* L. in Karst calcareous soils. *Communication in Soil Science & Plant Analysis*, 27, 1–13.

کاربرد مواد آلی مانند بیوچار و کربن آلی که یک منبع غنی از عناصر غذایی محسوب می‌شود، می‌تواند تا حد زیادی موجب افزایش فراهمی عناصر غذایی مفید مانند کلسیم و پتاسیم در خاک شود (Razaei et al., 2018). بیوچار می‌تواند منبع تغذیه مستقیم برای گیاه باشد و بسیاری از عناصر غذایی مانند پتاسیم را برای گیاه فراهم کند و سبب افزایش غلظت و جذب این عنصر در گیاه شود و در این شرایط درصد جوانه‌زنی و وزن گیاهچه نیز افزایش می‌یابد که این نیز موجب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه می‌شود. (Liu et al., 2014). این نتایج نشان داد که کربن فعال دارای پتانسیل زیادی برای بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه است و همین عامل موجب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه می‌گردد.

## نتیجه‌گیری

پوشش‌دار کردن بذر با کربن فعال و بیوچار با بهبود شاخص‌های گیاهچه‌ای مانند طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه توانستند اثرات اسمزی ناشی از تنش شوری را تعدیل دهند. همچنین مشخص شد پوشش‌دار کردن بذر با کربن فعال موجب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه کینوا گردید. به این ترتیب می‌توان گفت برای مقابله با اثرات منفی تنش‌های محیطی بخصوص تنش شوری می‌توان از پوشش‌دهی بذر با کربن فعال و بیوچار استفاده کرد و به این صورت شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر کینوا تحت تنش شوری را بهبود بخشید.

## سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج که هزینه‌های این تحقیق را در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد تقبل کردند، تشکر می‌گردد.

## تعارض منافع

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

- Cao, L., & Li, N. (2021).** Activated-carbon-filled agarose hydrogel as a natural medium for seed germination and seedling growth. *International Journal of Biological Macromolecules*, 177, 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.097>
- Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. B., & Haeefe, S. (2013).** The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot-grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3(2), 404–418. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020404>
- Derbali, W., Goussia, R., Koyroc, H. W., Abdelly, C., & Manaa, A. (2020).** Physiological and biochemical markers for screening salt-tolerant quinoa genotypes at early seedling stage. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 27–38. <https://doi.org/10.1080/17429145.2020.1722266>
- Ebrahimi, O., Mohammad, M., Esmaceli, H., Sabouri, H., & Tahmasebi, A. (2012).** Effects of salinity and drought stresses on germination of two rangeland plants: *Agropyron elongatum* and *Agropyron desertorum*. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 1, 31–38. [In Persian]
- EL-Bassiouny, H. M. S., & Bekheta, M. A. (2007).** Effect of salt stress on relative water content, lipid peroxidation, polyamines, amino acids, and ethylene of two wheat cultivars. *International Journal of Agriculture & Biology*, 7(3), 363–368.
- Farooq, M., Wahid, A., & Kadambot Siddique, H. M. (2015).** Micronutrient application through seed treatments: A review. *Journal of Soil Science & Plant Nutrition*, 12(1), 125–142. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011>
- Free, H. F., McGill, C. R., Rowarth, J. S., & Hedley, M. J. (2010).** The effect of biochars on maize (*Zea mays*) germination. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53(1), 1–4. <https://doi.org/10.1080/00288231003606039>
- Garcia, M., Condori, B., & Castillo, D. C. (2015).** Agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in South America. In K. Murphy & J. Matanguihan (Eds.), *Quinoa: Improvement and sustainable production* (pp. 25–46). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch3>
- Gupta, S., & Gupta, N. K. (2005).** High temperature-induced antioxidative defense mechanisms in contrasting wheat seedlings. *Indian Journal of Plant Physiology*, 10, 73–75.
- Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2011).** Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany*, 62, 185–193. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq257>
- Heath, R. L., & Pacher, L. (1968).** Photooxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189–198.
- Heidari, F., Jalilian, J., & Gholinezhad, E. (2021).** Impact of spraying nano-fertilizers and salinity stress on leaf and seed nutrient concentrations and physiological traits in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Plant Production*, 28, 103–116. [In Persian]
- Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., Ziolkowski, A., & Nelson, P. F. (2011).** Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.008>
- Ikić, I., Maričević, M., Tomasović, S., Gunjača, J., Šatović, Z., & Šarčević, H. (2012).** The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica*, 188, 25–34. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0735-8>
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992).** Water stress-induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55–60. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1992.840109.x>
- Javadi, A. (2020).** Biological enrichment and seed coating: Basic solutions to improve seed quality. *Javaneh*, 16(4), 39–43. [In Persian]
- Jumrani, K., & Bhatia, V. S. (2018).** Combined effect of high temperature and water-deficit stress imposed at vegetative and reproductive stages on seed quality in soybean. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23, 227–244. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0365-9>
- Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2009).** *Physiology of environmental stresses in plants*. University of Mashhad. [In Persian]
- Karami, R., Ebrahimi, F., Balouchi, H., & Babaie, M. (2020).** Improvement of germination behavior and seedling characteristics of two quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) under the effect of salicylic acid and salt stress. *Journal of Seed Research*, 10(1), 53–66. [In Persian]
- Kumaraswamy, R. V., Kumari, S., Choudhary, R. C., Sharma, S. S., Pal, A., Raliya, R., Biswas, P., & Saharan, V. (2019).** Salicylic acid functionalized chitosan nanoparticle: A sustainable biostimulant for plants. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.202>
- Lehmann, J., Czimnik, C., Laird, B., & Sohi, S. (2009).** Biochar for environmental management. *Soil Science & Technology*, 15, 183–206.

- Liu, T., Liu, B., & Zhang, W. (2014).** Nutrients and heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: Its application in soil amendment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1), 271–275.
- Loreto, F., & Velikova, V. (2001).** Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*, 127(4), 1781–1787. <https://doi.org/10.1104/pp.010497>
- Mansoori Gandomani, V., Heshmati, O., & Rezaei Charmahin, M. (2017).** Application of chitosan on soybean (*Glycine max* L.) seed germination under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 3(2), 171–178. <https://doi.org/10.29252/yujr.3.2.171> [In Persian]
- Miller, T., & Chapman, S. J. (1978).** Germination responses of three forage grasses to different concentrations of six salts. *Journal of Range Management*, 31(2), 123–124. <https://doi.org/10.2307/3897659>
- Moomeni, K. (2017).** Influence of bio-priming, hormone priming, and seed coating on the quality and germination characteristics of parsley seed (*Petroselinum crispum*). (M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Birjand University). [In Persian]
- Mousavi, S. M., Omidi, H., & Mousavi, S. E. (2022).** The effect of biological pre-treatments on germination, growth, and physiological indices of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seedlings under natural salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science & Technology*, 11(1), 117–145. [In Persian]
- Olszyk, D. M., Shiroyama, T., Novak, J., & Johnson, M. J. (2018).** A rapid test for screening biochar effects on seed germination. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 20, 1–18.
- Panuccio, M. R., Jacobsen, S. E., Akhtar, S. S., & Muscolo, A. (2014).** Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*, 6, plu047. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu047>
- Paquine, R., & Lechasseur, P. (1979).** Observations sur une méthode de dosage de la Libra dans les plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1851–1854. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Piri, R. (2016).** The effect of bio-priming and seed coating on some germination and seedling growth indices of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress [M.Sc. Thesis, Yasouj University]. [In Persian]
- Razaei, N., Razzaghi, F., Sepaskhah, A. R., & Moosavi, A. A. A. (2018).** Effect of biochar and saline irrigation water on chemical properties of soil under faba bean cultivation. *Iranian Journal of Soil Research*, 32, 13–24. [In Persian]
- Rózyło, K., Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., & Stefaniuk, M. (2017).** The potential of biochar for reducing the negative effects of soil contamination on the phytochemical properties and heavy metal accumulation in wheat grain. *Agricultural and Food Science*, 26(1), 34–46. <https://doi.org/10.23986/afsci.59308>
- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., Ghanimati, S., & Kasirlou, P. (2019).** The effect of salinity stress on traits related to germination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agroecology*, 15(3), 59–69. [In Persian]
- Seilsepour, M. (2021).** Effects of different water salinity levels on germination characteristics of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Water Research in Agriculture*, 35, 387–301. [In Persian]
- Shakeri, F., Rastgar, S., & Hassanzadeh Khankahdani, H. (2022).** Assessment of seed germination and morphological characteristics of three quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15, 751–763. [In Persian]
- Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., & Miglietta, F. (2011).** Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006>
- Verma, S. K., Bjpai, G. C., Tewari, S. K., & Singh, J. (2005).** Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. *Legume Research*, 28(2), 143–145.
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & Skz, A. (2016).** Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth-promoting rhizobacteria. *American Journal of Microbiological Research*, 184, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>
- Zadehbagheri, M., Javanmardi, S. H., & Kamelmanesh, M. (2015).** Effect of seed priming on the germination of forage maize under salt stress. *Journal of New Findings in Agriculture*, 9(4), 253–260.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J., & Crowley, D. (2010).** Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy in the Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139, 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.003>
- Zörb, C., Geilfus, C. M., & Dietz, K. J. (2019).** Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21, 31–38. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>