15(4) 323-330, Winter 2024

Journal of Animal Environment

(AEJ)

Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Germination ability of barley, wheat, quinoa and oat plants under salinity and heavy metals (Pb, Cd, Zn) stress

Peyman Khalili [1], Mehran Hoodaji [2*], Mozhgan Ahmadi Nadoushan [3], Atfeh Chamani [3]

[1]*Department of Environmental Science and Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran*

[2]*Department of Soil science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran*

[3]*Department of Environmental Science and Engineering, Research center of waste and wastewater, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran*

Key Words

Heavy metal
Salinity
Seed germination index
Allometric coefficient
Germination index

Abstract

Introduction: The development of technology in drilling oil and gas wells has created serious problems for the environment. Drilling fluids have some unwanted compounds such as heavy metals, hydrocarbons, and salt. The increase in the volume of these activities has caused the increasing spread of waste in the lands adjacent to the drilling rigs. The discharge of these compounds in the soil causes damage to the environment. Due to the importance of drilling waste management to reduce the environmental pollution caused by them, native plants of the region were selected and compared to the examination of salinity and heavy metal pollution levels, equivalent to the concentrations of drilling mud, which were prepared and implemented in the laboratory.

Materials & methods: To evaluate germination indicators under salinity stress and heavy metals (Cr, Cd, Pb), an experiment was conducted in the form of a completely randomized design in the year 2020 in the laboratory of the Faculty of Agriculture of Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan). The treatments included the concentration of metals. heavy and salinity at the level of 0,5,10,15%, four plants (Triticum wheat, Hordeum vulgare barley, Avena sativa oats, and Chenopodium quinoa) were selected with three replications.

Results: Comparison of the average fresh and dry weight of seedlings, seed germination index, and germination speed of wheat, barley, quinoa, and oat species showed that with the increase of salinity and metal stress treatments and their combination treatment, these traits decreased significantly. According to the research results, the quinoa plant species had the highest fresh and dry weight of seedlings among plant species. The allometric coefficient in the oat plant species was lower than the three wheat, barley, and quinoa plant species. 10% salinity treatment followed by 5% salinity showed the highest allometric coefficient in the quinoa plant with 1.93 and 1.86, respectively, which increased by 8% and 4%, respectively, compared to the control treatment. The oat plant had the highest seed germination index under 10 and 15% salinity conditions. The highest germination rate was related to the wheat plant, followed by the oat plant, and the barley plant had the lowest germination rate in all experimental treatments. In the conditions of salinity and metals and their combined treatments (salinity + metals), the quinoa plant had a higher germination percentage than the other three plant species. It can be concluded that wheat and quinoa plants are more suitable for the bioassay of heavy metals and salinity than the other two plants.

Conclusion: We believe that heavy metal treatments reduce germination ability, and seedling growth by inhibiting cell enlargement due to heavy metals. The reduction in seed germination can be due to the presence of heavy metals on various compounds in the seeds. The results of this study showed that with the increase in the concentration of lead, cadmium and zinc metals, the percentage of germination decreased significantly. Wheat plants and then quinoa had higher germination indices, which can be concluded that probably these plants can absorb fewer metals and have a high tolerance compared to barley and oat plants.

* Corresponding Author's email: m_hoodaji@khuisf.ac.ir

Received: 23 September 2022; Reviewed: 23 October 2022; Revised: 22 December 2022; Accepted: 22 January 2023

(DOI): 10.22034/AEJ.2023.378167.2919

مقاله پژوهشی

قابلیت جوانه‌زنی گیاهان جو، گندم ،کینوا و یولاف تحت تنش شوری و فلزات سنگین (سرب،روی و کادمیوم)

پیمان خلیلی[۱]، مهران هودجی[۲*]، مژگان احمدی‌ندوشن[۳]، عاطفه چمنی[۳]

[۱] گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
[۲] گروه علوم خاک، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
[۳] گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

کلمات کلیدی

فلزات سنگین
شوری
شاخص بنیه بذر
ضریب آلومتری
شاخص جوانه‌زنی

چکیده

مقدمه: سیالات حفاری دارای برخی ترکیبات ناخواسته ازجمله فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها و نمک هستند. ازدیاد حجم این فعالیت‌ها باعث گسترش روزافزون پسماندها در زمین‌های مجاور دکل‌های حفاری شده است. تخلیه این ترکیبات در خاک باعث آسیب به محیط‌زیست می‌شوند. با توجه به اهمیت مدیریت پسماندهای حفاری به‌منظور کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها گیاهان بومی منطقه انتخاب و نسبت به بررسی سطوح آلودگی شوری و فلزات سنگین غلظت‌های معادل گل حفاری در آزمایشگاه تهیه و انجام گردید.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی تحت تنش شوری و فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱٤۰۰ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) انجام شد. تیمارها شامل، غلظت فلزات سنگین و شوری در سطح ۰،۵،۱۰،۱۵ درصد، چهار گیاه (گندم *Triticum*، جو *Horedum Vulgare*، یولاف *Avena Sativa* و کینو\ *Chenopodium* Quinoa) با سه تکرار انتخاب گردید.

نتایج: مقایسه میانگین وزن‌تر و خشک گیاهچه، شاخص بنیه بذر و سرعت جوانه‌زنی گونه‌های گندم، جو، کینوا و یولاف نشان داد با افزایش تیمارهای تنش شوری و فلزات و تیمار ترکیب آن‌ها، این صفات کاهش چشمگیری داشتند. مطابق نتایج تحقیق، گونه گیاهی کینوا بالاترین وزن‌تر و خشک گیاهچه را در بین گونه‌های گیاهی داشت. ضریب آلومتری در گونه گیاهی یولاف کم‌تر از سه گونه گیاهی گندم، جو و کینوا بود. گیاه یولاف بالاترین شاخص بنیه بذر را در شرایط شوری ۱۰ و ۱۵ درصد داشت. بالاترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به گیاه گندم و بعد از آن گیاه یولاف بود و گیاه جو دارای کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی در تمام تیمارهای آزمایشی داشت. در شرایط شوری و فلزات و تیمارهای ترکیبی آن‌ها (شوری+فلزات)، گیاه کینوا از درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به سه گونه گیاهی دیگر برخوردار بود. می‌توان نتیجه گرفت گیاهان گندم و کینوا نسبت به دو گیاه دیگر برای زیست‌سنجی فلزات سنگین و شوری مناسب‌تر هستند.

بحث و نتیجه‌گیری: تیمارهای فلزات سنگین توانایی جوانه‌زنی، رشد گیاهچه را از طریق مهار بزرگ‌شدن سلول به‌دلیل فلزات سنگین کاهش می‌دهد. کاهش در جوانه‌زنی بذر می‌تواند به‌دلیل وجود فلزات سنگین بر روی ترکیبات مختلف در بذر باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت فلزات سرب، کادمیوم و روی، درصد جوانه‌زنی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. گیاهان گندم و بعد از آن کینوا از شاخص‌های جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بودند که می‌توان بیان کرد احتمالاً این گیاهان توانایی در جذب کم‌تر فلزات و تحمل بالایی نسبت به گیاهان جو و یولاف دارند.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m_hoodaji@khuisf.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ مهر ۱٤۰۱؛ تاریخ داوری: ۱ آبان ۱٤۰۱؛ تاریخ اصلاح: ۱ دی ۱٤۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۲ بهمن ۱٤۰۱
(DOI): 10.22034/AEJ.2023.378167.2919

مقدمه

حفاری چاه‌های نفت و گاز مشکلات جدی برای محیط‌زیست ایجاد کرده است و با توسعه تکنولوژی در این صنایع و هم‌چنین حجم فعالیت آن‌ها معضلات زیست‌محیطی ناشی از آن افزایش‌یافته است. گل‌های حفاری دارای برخی ترکیبات ناخواسته ازجمله فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها و نمک هستند که تخلیه این ترکیبات در خاک به محیط زیست آسیب می‌رسانند (۱). تنش عاملی است که تأثیر منفی بر موجودات زنده دارد (۲). به‌حضور املاح با غلظت‌های بالا در محلول خاک شوری اطلاق می‌شود (۳). تنش شوری از تنش‌های مهم غیرزیستی است که فیزیولوژی گیاهان را تحت‌تأثیر قرار داده و رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (۴). شوری، تمام فرایندهای اساسی گیاه مانند رشد، فتوسنتز، ساخت پروتئین، متابولیسم چربی‌ها و سوخت‌وساز گیاه از مرحله جوانه‌زنی تا تولید دانه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۵). عامل شوری با تأثیر بر مکانیسم‌هایی هم‌چون فتوسنتز، تنظیم فشار اسمزی و فعالیت آنزیم‌ها، باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (۶). در پژوهشی بیان کردند کینوا به سطح بالای شوری مقاوم است (۱). سازگاری زیاد کینوا به شرایط متفاوت محیطی به‌دلیل تنوع بالای کینوا به تنش‌های شوری و خشکی است و افزایش شوری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (۲). محققین بیان نمودند طول ساقه و ریشه، وزن‌تر ساقه و ریشه، با افزایش شوری رابطه عکس داشته و به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (۹). فلز و شبه فلزاتی که چگالی آن‌ها بیش‌تر از پنج مگاگرم بر مترمکعب است فلزات سنگین گفته می‌شود (۳). غلظت‌های بسیار پایین فلزات سنگین برای بعضی از گیاهان مورد نیاز است؛ ولی اگر این غلظت بالاتر از حد نیاز گیاه شود، سبب ایجاد اختلالات متابولیکی اغلب گیاهان می‌شوند (۴). برخی فلزات سنگین از قبیل (Mn ،Fe ،Ni) در فرایندهای متابولیکی نقش مؤثری ایفا می‌کنند (۵). ولی برخی دیگر به‌دلیل سمی بودن مثل Cr، Cd، Hg، Pb، در غلظت بسیار پایین نیز، می‌توانند موجب متوقف شدن رشد گیاه شوند. فلزات در اکوسیستم خاک حاصل فرایندهای طبیعی یا انسانی هستند (۱۳). فلزات سنگین به‌دلیل سمی بودن تجمع زیستی و پایداری در طبیعت بسیار خطرناک هستند (۱۴). چون سرعت تخریب فلزات سنگین به‌آرامی انجام می‌شود باعث ماندگاری طولانی‌مدت آن‌ها در محیط شده که این تجمع موجب آلودگی می‌گردد (۱۵). محققین گزارش کردند که با افزایش غلظت فلز سرب در گیاه ماشک، کاهش زیادی در رشد بخش‌های هوایی و ریشه، وزن تر و وزن خشک مشاهده شد (۱۶). جوانه‌زنی موفقیت‌آمیز بذر مهم‌ترین و اساسی‌ترین مرحله در چرخه رشد گیاه است، زیرا برای رشد گیاهچه و تولید بعدی آن بسیار مهم (۱۷)، چون مکانیزم‌های دفاعی گیاه به طور کامل تشکیل نشده جوانه‌زنی مهم‌ترین مرحله در مقابل تنش‌های محیطی، شوری و فلزات سنگین است (۱۸). کاهش ضعیف رشد ریشه و تأثیر منفی بر رشد گیاهان از عوامل تنش فلزات سنگین بر گیاه است (۱۸) از آن‌جائی‌که رشد گیاهان از طریق مراحل فنولوژیک بوده و اغلب گیاهان از نظر تحمل محیطی متفاوت هستند، جوانه‌زنی تأثیر مستقیمی در طول مراحل بعدی زندگی گیاه دارد (۱۹). در پژوهشی نتیجه گرفتند که جوانه‌زنی گندم در مقابل تنش‌های شوری و خشکی مقاوم است (۲۰). محققان نتیجه گرفتند که افزایش غلظت فلزات سنگین (روی، مس، سرب و کادمیوم) در آب آبیاری باعث کاهش در صفات مرفولوژیکی مانند طول ساقه، طول ریشه، وزن‌تر و وزن خشک برگ، وزن‌تر و وزن خشک ریشه شد پژوهشی نشان دادند با افزایش میزان تنش شوری، روی افزایش معنی‌داری داشته است و آب شور بر جذب عناصر روی و کادمیوم و انتقال به برگ معنی‌دار بود (۲۱). در تحقیقی بیان کردند عنصر روی در شرایط تنش می‌تواند باعث مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی شود. محققان بیان کردند، سمیت فلزات سنگین مثل Cd و Cr باعث آسیب به جوانه‌زنی در بذر گندم خواهد شد (۲۲). محققان نشان دادند میزان شوری خاک موجب ازدیاد جذب فلزات‌سنگین توسط سبزیجات می‌شود (۲۴). در تحقیقی عنوان نمودند ازدیاد شوری موجب افزایش فراهمی فلزات سنگین شد (۲۵). مطابق گزارش سمیت فلزات سنگین برای جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تاثیر عوامل محیطی مساله ثابت شده است (۲۶). در تحقیقی بیان داشتند، بذرها در غلظت‌های بالا (۱۰۰ میلی‌مولار) Cu^{2+}، Pb^{2+} و Zn^{2+} جوانه‌زده ولی، رشد بعدی دانه (پس از شکستن پوسته بذر) در غلظت‌های بسیار پایین‌تر فلزات سنگین توقف شد. استفاده از گیاهان بومی منطقه از نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد (۲۷).گندم رقم نارین جزو غلات پرمصرف و پراهمیت در سبد غذایی برای تأمین نان و دیگر فرآورده‌های آن می‌باشد (۷). گیاه جو از نظر ژنتیکی تحمل بیش‌تری به شرایط تحت تنش مانند شوری، خشکی و کاهش حاصلخیزی خاک دارد و در کل سازگاری بیش‌تری در مناطق کم بازده و حاشیه‌ای دارد. تحمل به شوری در گیاه جو بیش‌تر از گندم است (۲۹). در مقایسه با سایر گیاهان خانواده غلات، یولاف زراعی برای تولید در محیط نامساعد، ازجمله آب و هوای سرد و مرطوب و خاک فقیر از عناصر غذایی قادر به تولید علوفه خشک با کیفیت بسیار مرغوب می‌باشد (۸). کینوا به عنوان یک گیاه شورزیست اختیاری معرفی می‌شود، ولی گیاهان شورزیست نیز در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه بیش‌ترین حساسیت را به تنش شوری دارند (۹). وجود فعالیت های استخراج در میادین نفتی می‌تواند سبب آلودگی فلزات‌سنگین شود (۳۰). بنابراین با توجه به اهمیت مدیریت پسماندهای گل حفاری برای تعیین روش مناسب جهت کاهش آلودگی‌های ناشی از شوری و فلزات سنگین و استفاده

از گیاهان بومی به‌منظور بررسی قابلیت جوانه‌زنی مطابق نتایج آنالیز کنده حفاری نسبت به تهیه تیمارهای شوری و فلزات‌سنگین در شرایط آزمایشگاهی از کشت گیاهان بومی جو، گندم کینوا و یولاف استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) در سال ۱۴۰۰ انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ در سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵درصد، فلزات سنگین و مخلوط آن دو مطابق نتایج غلظت‌های آنالیز کنده حفاری، گیاهان جوگندم، یولاف و کینوا در ۳ تکرار انجام گردید. ابتدا بذرهای سالم و ناسالم جداسازی شده سپس بذور به‌مدت یک دقیقه با هیپوکلرید سدیم نیم درصد ضدعفونی و سپس با آب مقطر سه مرتبه شستشو انجام شد (۱۰). ابتدا غلظت شوری و فلزات سنگین در تیمارهای ۵ درصد آلوده (۵ درصد خاک‌آلوده +۹۵ درصد خاک شاهد)، ۱۰درصد آلوده (۱۰ درصد خاک‌آلوده+۹۰ درصد خاک شاهد)، ۱۵درصد (۱۵ درصد خاک‌آلوده و ۸۵ درصد خاک شاهد) به‌ترتیب با کمک هدایت سنج الکتریکی و دستگاه جذب اتمی قرائت و پس از تبدیل واحد، از نیترات سرب، روی، کادمیوم وNaCl به‌مقادیر زیر محلول‌سازی انجام شد. پس از تهیه محلول‌ها، بذرها درون آن محلول به‌مدت ۱۲۰ دقیقه قرار داده شدند. قبل از کشت بذرها با استفاده از قارچ‌کش ویتاواکس به نسبت دو در هزار ضدعفونی (۱۰) و سپس به تعداد ۲۰ عدد بذر از هر ۴ گیاه به‌صورت جداگانه در هر پتری‌دیش به قطر ده سانتی‌متر، قرار داده شد که قبلاً دو عدد کاغذ صافی استریل قرار گرفته و هر پتری به‌عنوان یک تکرار از تیمارها در نظر گرفته شد (مجموع ۱۹۲ پتری). از آب مقطر به‌عنوان شاهد استفاده شد. پتری‌ها به‌مدت ۱۰ روز در ژرميناتور با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تاریکی نگه‌داری شدند. تعداد بذرهای جوانه‌زده در زمان مشخصی در طول روز شمارش شدند(۱۱). مبنای جوانه‌زنی بذور، خروج ریشه‌چه از پوسته بذر و قابل رؤیت بودن آن با چشم غیرمسلح بود (۳۴). سپس با کمک فرمول‌های زیر، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، تعداد جوانه روز آخر، ضریب آلومتری، وزن‌تر و خشک ریشه‌چه و گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه محاسبه گردید (۳۴). پس از پایان روز هفتم طول ساقه‌چه (PL: Length Plumule)، طول ریشه‌چه (RL: Radicle Length)، ضریب آلومتری، درصد جوانه‌زنی (GP: Germination Percentage)، سرعت جوانه‌زنی (CVG)، شاخص بنیه بذر (VI) وزن تر و خشک ریشه و گیاه اندازه‌گیری و مطابق روابط زیر محاسبه شد:

رابطه ۱) سرعت جوانه‌زنی =(ΣNiTi)/S

رابطه ۲):

۱۰۰/درصدجوانه‌زنی×میانگین طول گیاهچه(میلی‌متر)=شاخص بنیه بذر(۱۲).

رابطه ۳) طول ساقچه/ طول ریشچه = ضریب آلومتری

رابطه ۴) درصد جوانه‌زنی = G/N× ۱۰۰

شاخص جوانه‌زنی Ti، تعداد روزهای پس از کشت، Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i و S تعداد کل بذرها است. هرچقدر این مقدار کم‌تر باشد نشان‌دهنده کوتاه‌تر بودن زمان جوانه‌زنی خواهد بود (۳۶). G تعداد نهایی بذرهای جوانه‌زده وN تعداد کل بذرها است (۳۶).

برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از کولیس استفاده شد. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازوی ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. در پایان داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS,9 تجزیه شدند. برای انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها (آزمون کولمو گرواسمیرنو) روی داده‌ها صورت گرفت. جهت‌انجام مقایسه میانگین از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری و فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی، درصد جوانه‌زنی در هر چهار گونه گیاهی مورد مطالعه کاهش یافت. بالاترین درصد جوانه‌زنی درگندم، جو، کینوا و یولاف مربوط به تیمار شاهد به‌ترتیب با ۹۷/۶۷، ۸۸/۰۰، ۹۹/۳۳ و ۸۵/۳۳ درصد بود و کم‌ترین درصدجوانه‌زنی در تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ به‌ترتیب با ۵۷/۰۰، ۴۲/۶۷، ۷۰/۳۳ و ۳۱/۳۳ درصد مشاهده شد. تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ باعث کاهش ۴۱، ۵۲، ۲۹ و ۶۳ درصدی صفت جوانه‌زنی گندم، جو، کینوا و یولاف نسبت به تیمار شاهد هرکدام از گونه‌های گیاهی شد. در شرایط شوری، فلزات و تیمارهای ترکیبی آن‌ها (شوری+ فلزات)، گیاه کینوا از درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به سه گونه گیاهی دیگر برخوردار بود. سرعت جوانه‌زنی گونه‌های گیاهی گندم، جو، کینوا و یولاف در شرایط تنش شوری، فلزات سنگین و تیمار ترکیبی به‌طور چشمگیری کاهش یافت. کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی نیز مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ به‌ترتیب با ۱۸/۵۰، ۱۳/۹۲، ۱۶/۷۲ و ۱۵/۳۸ بذر جوانه‌زده در روز بود که کاهش ۲۹، ۳۲، ۲۲ و ۴۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد هرکدام از گونه‌های گیاهی داشتند. به‌طور میانگین در بین گونه‌های گیاهی موردمطالعه، بالاترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به گیاه گندم و بعد از آن گیاه یولاف بود و گیاه جو دارای کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی در تمام تیمارهای آزمایشی بود (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری، فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم) و گیاهان گندم، جو، کینوا و یولاف بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی

تیمار	درصد جوانه‌زنی گندم	درصد جوانه‌زنی جو	درصد جوانه‌زنی کینوا	درصد جوانه‌زنی یولاف	سرعت جوانه‌زنی گندم	سرعت جوانه‌زنی جو	سرعت جوانه‌زنی کینوا	سرعت جوانه‌زنی یولاف
شاهد	۹۷/۶۷^{aA}	۸۸/۰۰^{aB}	۹۹/۳۳^{aA}	۸۵/۳۳^{aB}	۲۵/۹۱^{aB}	۲۰/۴۵^{aD}	۲۱/۵۶^{aC}	۲۷/۷۸^{aA}
شوری ۵	۹۱/۰۰^{bA}	۶۹/۰۰^{eC}	۹۳/۶۷^{cA}	۷۹/۰۰^{bB}	۲۳/۷۲^{deB}	۱۹/۹۷^{bD}	۲۰/۸۹^{bC}	۲۶/۸۶^{bA}
شوری ۱۰	۷۸/۰۰^{dB}	۵۵/۳۳^{iD}	۸۱/۳۳^{fA}	۶۱/۳۳^{fC}	۲۱/۷۶^{jB}	۱۸/۳۵^{eD}	۲۰/۰۹^{cdC}	۲۶/۰۲^{cA}
شوری ۱۵	۶۰/۳۳^{ijB}	۵۲/۰۰^{jC}	۷۹/۶۷^{fgA}	۴۴/۰۰^{jD}	۲۱/۱۷^{kA}	۱۵/۸۷^{jD}	۱۹/۲۰^{fgC}	۱۹/۸۰^{lB}
سرب ۵	۸۳/۶۷^{cB}	۸۴/۰۰^{bB}	۹۲/۶۷^{cA}	۷۲/۰۰^{dC}	۲۴/۱۵^{dA}	۱۹/۴۳^{cdC}	۱۹/۸۸^{deB}	۲۴/۱۲^{fA}
سرب ۱۰	۷۳/۳۳^{eB}	۶۱/۳۳^{gC}	۸۸/۳۳^{dA}	۵۶/۰۰^{gD}	۲۳/۰۵^{fgA}	۱۷/۷۶^{fD}	۱۹/۰۰^{gC}	۲۱/۸۸^{iB}
سرب ۱۵	۶۰/۳۳^{ijB}	۵۰/۶۷^{jkC}	۸۰/۰۰^{fA}	۴۸/۳۳^{iC}	۲۰/۷۷^{kA}	۱۶/۲۲^{iD}	۱۸/۱۱^{iC}	۱۹/۱۹^{mB}
کادمیوم ۵	۸۱/۶۷^{cB}	۸۱/۰۰^{cB}	۹۲/۰۰^{cA}	۷۰/۶۷^{dC}	۲۳/۹۷^{dA}	۱۹/۱۱^{dD}	۱۹/۶۹^{deC}	۲۳/۵۱^{gB}
کادمیوم ۱۰	۶۹/۰۰^{fB}	۵۸/۰۰^{hC}	۸۵/۰۰^{eA}	۵۳/۳۳^{hD}	۲۲/۸۴^{ghA}	۱۷/۳۵^{gD}	۱۸/۵۴^{hC}	۲۱/۲۱^{jB}
کادمیوم ۱۵	۵۹/۶۷^{ijB}	۴۸/۶۷^{kC}	۷۴/۳۳^{hA}	۴۱/۳۳^{kD}	۱۹/۵۲^{lA}	۱۴/۷۷^{lD}	۱۷/۳۱^{jB}	۱۶/۲۵^{oC}
روی ۵	۸۸/۰۰^{bB}	۸۲/۳۳^{bcC}	۹۸/۶۷^{abA}	۷۷/۰۰^{bcD}	۲۵/۲۱^{bA}	۱۹/۶۸^{bcC}	۲۱/۲۵^{abB}	۲۵/۴۲^{dA}
روی ۱۰	۶۷/۳۳^{fgC}	۶۵/۰۰^{fD}	۹۷/۰۰^{bA}	۷۵/۰۰^{cB}	۲۴/۷۵^{cA}	۱۹/۲۱^{dC}	۲۰/۳۳^{cB}	۲۴/۶۱^{eA}
روی ۱۵	۶۳/۰۰^{hiB}	۴۹/۰۰^{kC}	۷۵/۳۳^{hA}	۴۳/۶۷^{jD}	۲۲/۴۴^{hiA}	۱۶/۵۲^{iD}	۱۹/۱۱^{fgC}	۲۰/۷۸^{kB}
شوری ۵+فلزات ۵	۶۶/۶۷^{fgC}	۷۵/۳۳^{dB}	۸۹/۰۰^{dA}	۶۵/۳۳^{eC}	۲۳/۴۷^{efA}	۱۶/۹۷^{hD}	۱۹/۴۷^{efC}	۲۲/۷۲^{hB}
شوری ۱۰+فلزات ۱۰	۶۴/۳۳^{ghB}	۴۵/۰۰^{lC}	۷۸/۰۰^{gA}	۳۷/۶۷^{lD}	۲۲/۳۷^{iA}	۱۵/۳۲^{kD}	۱۸/۱۹^{hiB}	۱۷/۵۵^{nC}
شوری ۱۵+فلزات ۱۵	۵۷/۰۰^{jB}	۴۲/۶۷^{lC}	۷۰/۳۳^{iA}	۳۱/۳۳^{mD}	۱۸/۵۰^{mA}	۱۳/۹۲^{mD}	۱۶/۷۲^{kB}	۱۵/۳۸^{pC}

در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

صفت شاخص بنیه بذر در گیاهان مورد مطالعه گندم، جو، کینوا و یولاف با افزایش سطوح شوری، فلزات سنگین و تیمار ترکیبی کاهش یافت. بالاترین میزان در صفت شاخص بنیه بذر مربوط به تیمار شاهد با ۱۰۱۹/۷، ۹۵۴/۲، ۹۵۰/۰ و ۹۰۸/۱ بود و کم‌ترین میزان در این صفت نیز مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+ فلزات ۱۵٪ با ۳۷۷/۴، ۲۲۱/۱، ۳۱۷/۱ و ۱۸۷/۱ به‌ترتیب در گندم، جو، کینوا و یولاف بود که کاهش ۶۳، ۷۶، ۶۶ و ۷۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد خود نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین داده‌های ضریب آلومتری نشان داد بالاترین ضریب آلومتری گندم، مربوط به تیمار شوری ۵ درصد با ۲/۱۱ و کم‌ترین مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ با ۱/۱۵ بود. کم‌ترین میزان در این صفت نیز مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ با ۱/۲۱ در گیاه جو بود که کاهش ۳۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد خود نشان داد. تیمار شوری ۱۰ درصد و بعد از آن شوری ۵ درصد، بالاترین ضریب آلومتری را در گیاه کینوا به‌ترتیب با ۱/۹۳ و ۱/۸۶ نشان دادند که به‌ترتیب افزایش ۸ و ۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند. کم‌ترین ضریب آلومتری در گیاه کینوا مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ با ۱/۱۱ بود که کاهش ۳۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشت. بالاترین ضریب آلومتری در گیاه یولاف با ۱/۶۶ مربوط به تیمار شاهد بود. کم‌ترین میزان در این صفت در گیاه یولاف با ۱/۰۰ مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ بود که کاهش ۴۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد خود نشان داد. به‌طور میانگین، ضریب آلومتری در گونه گیاهی یولاف کم‌تر از سه گونه گیاهی گندم، جو و کینوا بود (جدول ۲). مقایسه میانگین وزن‌تر و خشک گیاهچه گونه‌های گیاهی گندم، جو، کینوا و یولاف نشان داد با افزایش تیمارهای تنش شوری و فلزات و تیمار ترکیب آن‌ها، این صفات کاهش چشمگیری داشتند. بالاترین وزن‌تر و خشک گیاهچه گیاه گندم مربوط به تیمار روی ۵ درصد به‌ترتیب با ۱/۹۸ و ۰/۳۸ گرم و بعد از آن مربوط به تیمار شاهد با ۱/۸۷ و ۰/۳۷ گرم بود. کم‌ترین وزن تر گیاهچه گندم به‌ترتیب با ۰/۴۳ و ۰/۰۸ گرم مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ بود که کاهش ۷۷ و ۸۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند. تیمارهای شاهد و روی ۵ درصد در گیاه جو به ترتیب با ۱/۰۹ و ۱/۲۸ گرم از بالاترین وزن تر و با ۰/۲۴ و ۰/۲۳ گرم از بالاترین وزن خشک گیاهچه برخوردار بودند. به‌طور میانگین، گونه گیاهی کینوا بالاترین وزن تر و خشک گیاهچه را در بین گونه‌های گیاهی داشت. گیاهان گندم نیز به‌جز تیمارهای شوری ۵ و ۱۰ درصد و تیمار شاهد از وزن‌تر گیاهچه بالای برخوردار بودند. گونه‌های گیاهی جو و یولاف به‌طور معنی‌داری دارای وزن‌تر و خشک گیاهچه

کم‌تری نسبت به گندم و کینوا داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه گونه‌های گیاهی موردمطالعه نشان داد بالاترین وزن‌تر ریشه در گیاهان گندم مربوط به تیمار روی ۵ درصد با ۱/۶۸ گرم بود که افزایش ۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد با ۱/۵۷ گرم نشان داد. بالاترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار شاهد با ۰/۳۹ گرم و تیمار روی ۵ درصد با ۰/۳۷ گرم بود. کم‌ترین وزن تر و خشک در گیاه گندم نیز مربوط به تیمار ترکیبی شوری ۱۵٪+فلزات ۱۵٪ به‌ترتیب با ۰/۲۲ و ۰/۰۵ گرم بود که کاهش ۸۶ و ۸۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشتند. در بین گونه‌های گیاهی، بالاترین وزن تر و خشک ریشه گیاه مربوط به گیاهان جو در تمام تیمارهای مورد آزمایش بود و تنها وزن تر ریشه در تیمار سرب ۱۵ درصد در گونه گندم بالاتر از جو بود (جدول ۴).

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری، فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم) و گیاهان گندم، جو، کینوا و یولاف بر شاخص بنیه بذر و ضریب آلومتری

تیمار	شاخص بنیه بذر گندم	شاخص بنیه بذر جو	شاخص بنیه بذر کینوا	شاخص بنیه بذر یولاف	ضریب آلومتری گندم	ضریب آلومتری جو	ضریب آلومتری کینوا	ضریب آلومتری یولاف
شاهد	۱۰۱۹/۷^{aA}	۹۵۴/۲^{aB}	۹۵۰/۰^{aB}	۹۰۸/۱^{aB}	۱/۹۷^{abA}	۱/۸۸^{aAB}	۱/۷۹^{bcAB}	۱/۶۶^{aB}
شوری ۵	۹۳۳/۴^{bA}	۸۰۷/۸^{abC}	۸۸۸/۳^{bB}	۸۲۴/۸^{bC}	۲/۱۱^{Aa}	۱/۵۵^{defC}	۱/۸۶^{abB}	۱/۵۲^{abC}
شوری ۱۰	۶۲۵/۱^{gC}	۷۲۴/۱^{cdB}	۵۸۸/۴^{hiD}	۷۷۶/۱^{cA}	۱/۷۵^{cdeB}	۱/۳۳^{ghijkC}	۱/۹۳^{aA}	۱/۳۸^{defC}
شوری ۱۵	۵۴۱/۱^{hiA}	۳۳۶/۲^{ghB}	۳۹۶/۹^{mB}	۵۰۰/۲^{hA}	۱/۲۰^{Ib}	۱/۲۳^{jkB}	۱/۵۰^{fgA}	۱/۱۱^{ijB}
سرب ۵	۷۵۰/۶^{eB}	۵۸۸/۴^{efD}	۸۱۴/۸^{cA}	۶۷۷/۴^{eC}	۱/۵۵^{efgAB}	۱/۶۹^{bcA}	۱/۵۹^{defAB}	۱/۴۰^{cdeB}
سرب ۱۰	۵۸۵/۸^{ghA}	۳۹۶/۹^{gC}	۶۰۰/۰^{hA}	۵۵۴/۸^{gB}	۱/۴۹^{fghA}	۱/۴۷^{efgA}	۱/۳۲^{hiAB}	۱/۲۱^{ghiB}
سرب ۱۵	۴۸۸/۵^{jA}	۳۲۵/۱^{ghiB}	۵۱۱/۳^{kA}	۲۴۸/۱^{mC}	۱/۲۵^{Iab}	۱/۳۲^{hijkA}	۱/۰۹^{jC}	۱/۱۴^{hiBC}
کادمیوم ۵	۷۲۰/۸^{eB}	۷۷۶/۴^{cA}	۶۸۸/۴^{fC}	۷۰۶/۹^{dBC}	۱/۷۰^{defA}	۱/۶۳^{cdA}	۱/۶۵^{deA}	۱/۳۳^{efgB}
کادمیوم ۱۰	۵۱۱/۰^{ijAB}	۶۶۰/۹^{deA}	۵۷۸/۳^{iAB}	۴۳۸/۳^{iB}	۱/۴۸^{fghA}	۱/۳۹^{ghiAB}	۱/۴۳^{ghAB}	۱/۱۹^{ghiB}
کادمیوم ۱۵	۴۳۳/۰^{kA}	۲۹۶/۶^{ghiC}	۴۵۱/۱^{lA}	۳۴۲/۴^{kB}	۱/۲۶^{Ia}	۱/۳۰^{hijkA}	۱/۰۱^{jB}	۱/۰۸^{ijB}
روی ۵	۸۷۷/۱^{cA}	۸۹۶/۴^{abA}	۷۷۷/۳^{dB}	۷۱۴/۱^{dC}	۱/۹۳^{abcA}	۱/۷۷^{abB}	۱/۷۲^{cdBC}	۱/۵۹^{abC}
روی ۱۰	۸۲۰/۶^{dA}	۶۶۲/۵^{deC}	۷۲۵/۲^{eB}	۶۵۴/۶^{eC}	۱/۵۵^{efgA}	۱/۴۲^{fghA}	۱/۵۰^{fgA}	۱/۲۶^{fghB}
روی ۱۵	۴۸۰/۷^{jBC}	۵۳۱/۹^{fAB}	۶۳۲/۱^{gA}	۴۰۰/۳^{jC}	۱/۳۰^{hiAB}	۱/۳۷^{ghijA}	۱/۲۷^{iAB}	۱/۱۸^{hiB}
شوری ۵+فلزات ۵	۶۸۸/۴^{fA}	۶۳۵/۱^{defB}	۶۵۰/۷^{gB}	۵۸۸/۱^{fC}	۱/۸۸^{bcdA}	۱/۶۰^{cdeB}	۱/۸۲^{abcA}	۱/۴۸^{bcdB}
شوری ۱۰+فلزات ۱۰	۴۰۸/۱^{klB}	۲۵۴/۳^{hiD}	۵۴۵/۶^{jA}	۲۹۰/۰^{lC}	۱/۳۵^{ghiAB}	۱/۲۵^{ijkB}	۱/۵۵^{efgA}	۱/۱۸^{hiB}
شوری ۱۵+فلزات ۱۵	۳۷۷/۴^{lA}	۲۲۱/۱^{iC}	۳۱۷/۱^{nB}	۱۸۷/۹^{nD}	۱/۱۵^{Ia}	۱/۲۱^{kA}	۱/۱۱^{jAB}	۱/۰۰^{jB}

در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری، فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم) و گیاهان گندم، جو، کینوا و یولاف بر وزن‌تر و خشک گیاهچه

تیمار	وزن‌تر گیاهچه گندم	وزن‌تر گیاهچه جو	وزن‌تر گیاهچه کینوا	وزن‌تر گیاهچه یولاف	وزن خشک گیاهچه گندم	وزن خشک گیاهچه جو	وزن خشک گیاهچه کینوا	وزن خشک گیاهچه یولاف
شاهد	۱/۸۷۰^{aB}	۱/۰۹۰^{aC}	۲/۱۹۰^{aA}	۰/۸۷۰^{aD}	۰/۳۷۰^{aA}	۰/۲۳۷^{aB}	۰/۴۱۰^{aA}	۰/۱۵۷^{aC}
شوری ۵	۱/۶۵۳^{bB}	۰/۹۶۷^{cC}	۲/۰۲۳^{bA}	۰/۸۶۳^{aD}	۰/۳۰۷^{bcB}	۰/۲۰۰^{cC}	۰/۳۸۰^{aA}	۰/۱۵۲^{aD}
شوری ۱۰	۱/۳۲۰^{dB}	۰/۷۸۳^{fC}	۱/۷۷۷^{dA}	۰/۷۳۷^{cC}	۰/۲۴۰^{efB}	۰/۲۰۳^{cC}	۰/۳۳۷^{bA}	۰/۱۳۳^{abD}
شوری ۱۵	۱/۰۴۰^{fA}	۰/۶۹۰^{hB}	۱/۰۳۷^{jA}	۰/۴۲۷^{hC}	۰/۲۰۳^{gB}	۰/۱۴۷^{deC}	۰/۲۳۳^{efA}	۰/۰۷۷^{eD}
سرب ۵	۱/۴۵۰^{cA}	۱/۰۰۷^{bB}	۱/۴۸۷^{fA}	۰/۷۱۰^{cC}	۰/۲۸۰^{cdA}	۰/۲۱۰^{bcB}	۰/۲۷۷^{dA}	۰/۱۲۳^{bcdC}
سرب ۱۰	۱/۱۷۰^{eA}	۰/۶۲۰^{ijB}	۱/۲۵۰^{hA}	۰/۵۹۰^{eB}	۰/۲۲۳^{fgA}	۰/۱۳۰^{efB}	۰/۲۴۳^{eA}	۰/۱۱۳^{dB}
سرب ۱۵	۰/۶۶۰^{iA}	۰/۵۵۰^{kB}	۰/۷۰۰^{mA}	۰/۳۸۰^{iC}	۰/۱۲۰^{iB}	۰/۱۲۳^{fAB}	۰/۱۴۷^{ghA}	۰/۰۷۳^{efC}
کادمیوم ۵	۱/۴۲۰^{cdA}	۰/۸۳۰^{eC}	۱/۳۲۳^{gB}	۰/۶۶۳^{dD}	۰/۲۶۳^{deA}	۰/۱۶۰^{dC}	۰/۲۳۷^{efB}	۰/۱۱۷^{cdD}
کادمیوم ۱۰	۱/۱۵۰^{efA}	۰/۵۹۰^{jB}	۱/۱۳۳^{iA}	۰/۳۳۷^{jC}	۰/۲۷۰^{dA}	۰/۱۳۰^{efC}	۰/۲۰۷^{fB}	۰/۰۵۳^{gD}
کادمیوم ۱۵	۰/۷۴۷^{hiA}	۰/۴۹۰^{lC}	۰/۶۵۰^{nB}	۰/۳۱۳^{jD}	۰/۱۴۷^{hiA}	۰/۱۰۰^{gB}	۰/۱۳۰^{hiA}	۰/۰۵۷^{fgC}
روی ۵	۱/۹۸۰^{aA}	۱/۱۲۷^{aB}	۱/۹۵۳^{cA}	۰/۷۸۷^{bC}	۰/۳۸۰^{aA}	۰/۲۳۰^{abC}	۰/۳۴۷^{bB}	۰/۱۴۰^{abD}
روی ۱۰	۱/۷۱۰^{bA}	۰/۹۱۷^{dB}	۰/۸۸۷^{kB}	۰/۵۴۷^{fC}	۰/۳۲۳^{bA}	۰/۱۹۰^{cB}	۰/۱۷۳^{gB}	۰/۱۰۷^{dC}
روی ۱۵	۰/۸۳۰^{ghA}	۰/۶۳۳^{iB}	۰/۸۰۰^{lA}	۰/۴۹۰^{gC}	۰/۱۶۷^{hA}	۰/۱۴۷^{deB}	۰/۱۵۰^{ghB}	۰/۰۷۷^{eC}
شوری ۵+فلزات ۵	۱/۵۲۷^{cA}	۰/۷۳۰^{gC}	۱/۵۶۳^{eA}	۰/۸۰۰^{bB}	۰/۲۹۰^{cdB}	۰/۱۵۰^{deC}	۰/۳۱۰^{cA}	۰/۱۴۰^{abC}
شوری ۱۰+فلزات ۱۰	۰/۸۹۰^{gA}	۰/۴۱۰^{mC}	۰/۵۷۰^{oB}	۰/۲۵۰^{kD}	۰/۱۷۰^{hA}	۰/۰۹۰^{gB}	۰/۱۰۷^{iB}	۰/۰۴۳^{gC}
شوری ۱۵+فلزات ۱۵	۰/۴۳۳^{jA}	۰/۳۰۳^{nB}	۰/۴۱۳^{pA}	۰/۱۴۷^{lC}	۰/۰۷۷^{jA}	۰/۰۵۷^{hAB}	۰/۰۵۳^{jAB}	۰/۰۲۲^{hB}

در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف شوری، فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم) و گیاهان گندم، جو، کینوا و یولاف بر وزن‌تر و خشک ریشه

تیمار	وزن‌تر ریشه گندم	وزن‌تر ریشه جو	وزن‌تر ریشه کینوا	وزن‌تر ریشه یولاف	وزن خشک ریشه گندم	وزن خشک ریشه جو	وزن خشک ریشه کینوا	وزن خشک ریشه یولاف
شاهد	۱/۵۷۰^{abB}	۲/۰۷۰^{aA}	۱/۵۳۳^{aB}	۱/۲۲۷^{aC}	۰/۳۸۷^{aB}	۰/۵۸۷^{aA}	۰/۳۳۰^{aC}	۰/۲۹۰^{aD}
شوری ۵	۱/۴۱۰^{bcB}	۱/۷۸۰^{bcA}	۱/۳۲۷^{bB}	۱/۰۵۰^{cC}	۰/۳۴۰^{bB}	۰/۵۰۷^{cA}	۰/۳۰۳^{bC}	۰/۲۳۳^{bD}
شوری ۱۰	۱/۰۳۰^{efA}	۱/۱۵۳^{efA}	۱/۲۰۳^{cA}	۰/۸۵۷^{eA}	۰/۲۶۰^{dB}	۰/۴۳۰^{eA}	۰/۲۶۰^{cB}	۰/۱۸۰^{cC}
شوری ۱۵	۰/۷۲۰^{ghiB}	۱/۰۴۷^{fA}	۰/۶۰۰^{hC}	۰/۴۹۰^{jD}	۰/۱۷۷^{fB}	۰/۲۸۰^{gA}	۰/۱۳۷^{ghC}	۰/۱۰۸^{fgD}
سرب ۵	۱/۱۵۳^{deB}	۱/۶۵۷^{cA}	۰/۸۷۷^{eC}	۰/۷۴۳^{gC}	۰/۲۸۰^{cdB}	۰/۴۶۰^{dA}	۰/۱۸۰^{fC}	۰/۱۵۷^{dC}
سرب ۱۰	۰/۸۶۰^{fgB}	۱/۳۵۰^{deA}	۰/۵۷۰^{hC}	۰/۵۵۰^{iC}	۰/۲۰۰^{efB}	۰/۳۴۰^{fA}	۰/۱۲۷^{hC}	۰/۱۲۰^{fC}
سرب ۱۵	۰/۶۵۰^{hijA}	۰/۵۴۰^{hiB}	۰/۱۶۷^{lD}	۰/۲۶۷^{mC}	۰/۱۴۰^{gA}	۰/۱۴۷^{iA}	۰/۰۴۳^{jkC}	۰/۰۵۷^{iB}
کادمیوم ۵	۱/۱۵۰^{deB}	۱/۵۸۰^{cdA}	۰/۹۵۳^{eC}	۰/۷۳۰^{gD}	۰/۲۹۰^{cB}	۰/۴۱۰^{eA}	۰/۲۰۰^{eC}	۰/۱۵۰^{deC}
کادمیوم ۱۰	۰/۷۹۰^{ghB}	۱/۱۲۰^{efA}	۰/۴۵۳^{iC}	۰/۴۱۰^{kC}	۰/۲۰۷^{eB}	۰/۲۶۷^{gA}	۰/۰۹۷^{iC}	۰/۰۹۳^{ghC}
کادمیوم ۱۵	۰/۴۰۰^{klA}	۰/۴۲۷^{iA}	۰/۱۳۰^{lmB}	۰/۱۹۷^{nB}	۰/۱۱۰^{hA}	۰/۱۱۷^{jA}	۰/۰۲۸^{kB}	۰/۰۴۳^{ijB}
روی ۵	۱/۶۸۰^{aB}	۲/۱۲۰^{aA}	۱/۴۸۰^{aC}	۱/۱۵۰^{bD}	۰/۳۷۰^{aB}	۰/۵۶۰^{bA}	۰/۳۱۳^{abC}	۰/۲۴۰^{bD}
روی ۱۰	۱/۲۹۰^{cdB}	۱/۹۳۰^{abA}	۱/۰۷۰^{dC}	۰/۸۰۰^{fD}	۰/۲۹۰^{cB}	۰/۴۹۰^{cA}	۰/۲۳۰^{dC}	۰/۱۸۰^{cD}
روی ۱۵	۰/۵۰۷^{jkB}	۰/۶۸۰^{ghiA}	۰/۳۹۰^{jC}	۰/۳۵۰^{lC}	۰/۱۲۷^{ghB}	۰/۱۹۳^{hA}	۰/۰۹۳^{iC}	۰/۰۸۳^{hC}
شوری ۵+فلزات ۵	۰/۶۰۰^{ijC}	۰/۹۲۰^{fgA}	۰/۷۲۰^{gB}	۰/۹۱۰^{dA}	۰/۱۴۷^{gC}	۰/۲۶۰^{gA}	۰/۱۵۰^{gC}	۰/۱۹۰^{cB}
شوری ۱۰+فلزات ۱۰	۰/۳۰۰^{lC}	۰/۷۴۳^{ghA}	۰/۲۲۷^{kD}	۰/۶۲۰^{hB}	۰/۰۷۰^{iC}	۰/۱۹۰^{hA}	۰/۰۵۴^{jD}	۰/۱۳۰^{efB}
شوری ۱۵+فلزات ۱۵	۰/۲۲۰^{lB}	۰/۴۵۰^{iA}	۰/۰۹۷^{mC}	۰/۰۸۳^{oC}	۰/۰۴۷^{iB}	۰/۰۹۳^{jA}	۰/۰۲۴^{kC}	۰/۰۲۷^{jC}

در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

بحث

یکی از جنبه‌های مهم تحمل به شوری، امکان جوانه‌زدن بذرها در خاک شور و توانایی آن‌ها برای ادامه رشد است (۱۳). به‌طورکلی، شوری بر تمام فرایندهای اصلی مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپیدها و انرژی در تمام مراحل رشد گیاه، از جوانه‌زنی تا تولیدبذر، تأثیر می‌گذارد (۱۴). یکی از دلایل کاهش رشد کلئوپتیل در شرایط شوری می‌تواند تنش اسمزی- اکسیداتیو - سمی ترکیبی باشد که باعث اختلال در تقسیم سلولی و تغییر ساختار اندامک‌های سلولی می‌شود (۱۵). علاوه بر این، نمک باعث اثر پلاسمولیز می‌شود که با کاهش فشار تورگر آشکار می‌شود که سیتوپلاسم سلول را فشرده می‌کند و در نتیجه رشد و شکل اندام‌های در حال ظهور را مختل می‌کند. هیدراتاسیون بهینه سلول برای رشد سلول و تقسیم آن ضروری است (۴۰). در این راستا محققان نشان‌دادند شوری درصد جوانه‌زنی (GP)، شاخص جوانه‌زنی (GI)، طول ساقه‌چه، طول ریشه گیاهچه، شاخص بنیه گیاهچه (SVI)، وزن‌تر و خشک گیاهچه را کاهش داد، اما MGT را در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم (*Sorghum bicolor*) افزایش داد(۴۱). محققین هم‌چنین نشان‌دادند که CVG و GRI بالاتر و MGT کم‌تر نشان‌دهنده جوانه‌زنی بالاتر و سریع‌تر بذر است (۱۶). اثرات منفی شوری بالا ممکن است به‌دلیل سمیت یونی روی جوانه‌زنی بذر باشد که در نتیجه افزایش هم‌زمان آنیون و کاتیون است (۹). یکی از اثرات اولیه شوری بر گیاهان کاهش سرعت رشد بود (۴۲). غلظت‌های پایین کلرید سدیم باعث خواب بذر می‌شود و غلظت‌های بالای کلرید سدیم به‌دلیل اثرات پتانسیل اسمزی بالا و سمیت یونی خاص (انباشت یون‌های Na^+ و Cl^-) از جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند (۴۱). از طرف دیگر تجمع زیاد یون‌های Na^+ در محیط باعث‌تنش اسمزی و شبه خشکی می‌شود که منجر به کاهش جذب‌آب توسط بافت‌های گیاهی می‌شود (۱۷). علاوه بر این، شوری می‌تواند با اثر سمی یون‌ها باعث تغییر در فعالیت آنزیم‌ها شود (۱۸). این اختلال در فعالیت‌های آنزیمی باعث تغییرات عمده در گیاهان در طول جوانه‌زنی؛ مانند تغییر متابولیسم اسیدنوکلئیک و پروتئین (۱۸)، برهم‌زدن تعادل هورمونی (۱۹) و کاهش استفاده از ذخایر بذر (۲۰) می‌شود. با این‌حال عوامل داخلی مختلف یک‌دانه، مانند خواص پوشش، سن، چندشکلی، خواب، بنیه نهال و عوامل خارجی مانند دما، نور، آب و گازها می‌توانند بر جوانه‌زنی بذر در شرایط شور تأثیر بگذارند (۲۰). در مطالعه اخیر نیز کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و ضریب آلومتری در نتیجه تیمارهای شوری در گونه‌های گیاهی گندم، جو، کینوا و یولاف به‌طور چشمگیری کاهش یافت که در راستای پژوهش‌های مختلف صورت گرفته می‌باشد.

در شرایط شورکاهش طول شاخساره و ریشه نهال یک پدیده رایج در بسیاری از گیاهان است، زیرا ریشه‌ها اولین اندام‌هایی هستند که در معرض شوری قرار می‌گیرند و در تماس مستقیم با خاک هستند و آب را از خاک جذب کرده و به اندام هوایی می‌رسانند (۲۱). علاوه بر این، شوری می‌تواند تأثیر منفی بر فراساختار سلول‌ها، بافت‌ها و

اندام‌ها داشته باشد (۲۲). علاوه بر این، گزارش‌شده است که شوری، با اثرات سمی اسمزی و یونی خاص، حفظ سطوح ضروری مواد مغذی ضروری برای رشد گیاه را مهار می‌کند و در نهایت ظهور ریشه و رشد گیاهچه را محدود می‌کند (۴۹). کاهش وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه‌چه گندم، جو، کینوا و یولاف با افزایش غلظت نمک مشاهده شده در این مطالعه، مطابق با نتایج گزارش شده توسط محققین(۴۱) است. علاوه براین، کاهش‌وزن تر و خشک ممکن‌است به‌دلیل اثر سمی +Na بر سرعت فتوسنتز در غلظت‌های بالاتر باشد (۲۳) در مطالعه دیگری، اثرات شوری بر طول ریشه شدیدتر از طول ساقه بود (۵۰). این تفاوت ممکن است به‌دلیل اثر مهاری بیش‌تر کلرید سدیم بر رشد ریشه نسبت به رشد اندام هوایی باشد (۵۱). به‌طور خاص، قبلاً نشان‌داده شده بود که شوری غلظت CO2 بین سلولی و سپس سرعت فتوسنتز را با بسته‌شدن روزنه کاهش می‌دهد (۲۴). علاوه براین، در سطوح بالای نمک، +Na می‌تواند باعث سرعت انتقال کم‌تر یون‌های ضروری مانند NO-3 شود که ترکیبات حاوی نیتروژن را کاهش داده و در نهایت رشد گیاه و تجمع زیست‌توده را مهار می‌کند (۵۳). محققان دریافتند که سطح بالای کلرید سدیم به‌شدت از کشیدگی محور جنینی در محلول آبیاری جلوگیری می‌کند. از طرفی کلرید سدیم به‌دلیل اثر بازدارندگی بر جذب آب بر تعداد بذرهای جوانه‌زده تأثیر می‌گذارد (۱۴). براساس یافته‌ها، افزایش سطح شوری اثر جوانه‌زنی بر تقسیم سلولی و متابولیسم را کاهش می‌دهد (۵۴). هم‌چنین گزارش شده است که کاهش درصد جوانه‌زنی با کاهش جذب آب بذر در طول آبگیری همبستگی دارد (۲۵). جوانه‌زنی را می‌توان به سه مرحله، جذب آب، افزایش فعالیت‌های متابولیکی و خروج رادیکال تقسیم کرد. در طی این سه مرحله، بذرهای خشک رطوبت کافی برای جوانه‌زنی جذب می‌کنند (۲۶). مطالعات نشان داده‌اند که شوری ظرفیت جذب آب و مواد مغذی را با کاهش رشد رادیکال کاهش می‌دهد که با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد (۲۷). اگر چه مکانیسم‌های مولکولی و بیولوژیکی مقاومت به شوری در گیاهان به‌خوبی شناخته‌نشده است، اما گزارش شده است که میزان مقاومت به‌میزان سدیم موجود در بافت‌ها مرتبط است. در این راستا گیاهان مقاوم به شوری مکانیسم‌هایی مانند جذب کم‌تر سدیم در ریشه، انتقال کم‌تر به اندام‌های هوایی و تجمع در برخی اندامک‌های سلولی دارند (۱۴). شوری هم‌چنین تعادل مواد مغذی و هورمونی را در طول جوانه‌زنی مختل می‌کند، به‌ویژه جیبرلین (GA) و اسید آبسیزیک (ABA). در نتیجه، شوری زیاد باعث تأخیر در جوانه‌زنی بذر و یا حتی مهار آن می‌شود که بستگی به تحمل گیاهان به نمک دارد (۵۸). تنش شوری بالا ممکن است تعادل دینامیکی بین تولید و مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند رادیکال‌های هیدروکسیل (OH•)، سوپر اکسید (O2-•) و پروکسید هیدروژن (H2O2) را مختل کند. گونه‌های فعال اکسیژن به ماکرومولکول‌ها مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها و هم‌چنین ساختارهای سلولی مانند غشاها آسیب می‌رساند و در نتیجه جوانه‌زنی بذر را مهار می‌کند (۵۹). درصورتی که گیاه بخواهد نمک موجود در سیتوپلاسم خود را در حد پایین حفظ کند باید از سازوکارهای گریز مانند تراوش یون‌ها به بیرون ریشه، جذب توسط یاخته‌های پارانشیمی آوند چوبی، سامانه مبادله بین آوند آبکش و توزیع شیب یونی بین بخش‌های درحال‌رشد و غیره استفاده کند که این عمل ممکن است موجب توسعه نیافتن ریشه و چوب پنبه‌ای شدن آن و در نهایت کاهش طول آن گردد (۶۰). محققان نتیجه گرفتند غلظت فلزات روی، سرب و کادمیوم در گندم رسیده بیش‌تر از گندم جوانه زده بود (۲۸) که با نتایج مطالعه حاضر و تاثیر فلزات بر جوانه زنی مطابقت دارد. به نظر می‌رسد گیاهان در شرایط تنش شوری، به‌منظور حفظ اختلاف پتانسیل اسمزی با محیط ریشه، محتوای آب ریشه را کاهش می‌دهند که این امر منجر به مصرف انرژی زیاد برای فائق آمدن بر پتانسیل کم محیط ریشه و جذب یون‌ها توسط ریشه می‌گردد (۲۹)، در نتیجه، موجب کم‌شدن انرژی مورد نیاز جهت رشد و نهایتاً سبب کاهش وزن خشک ریشه در گیاهان گندم، جو، کینوا و یولاف شده است.

تشکر و قدردانی

این مطالعه بخشی از طرح پژوهشی به شماره ۹۹۰۱۷۱۵۷ صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور (INFS) است. بدین‌وسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور قدردانی می‌شود.

منابع

1. **Jamali, S. and Sharifan, H., 2018.** Investigation the effect of different Salinity levels on Yield and Yield components of Quinoa (Cv. Titicaca). Journal of Water and Soil Conservation. 25(2): 251-266.
2. **Bhargava, A., Shukla, S., Rajan, S. and Ohri, D., 2007.** Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. Genetic Resources and Crop Evolution. 54(1): 167-173.
3. **Naderi, M.R., Danesh-Shahraki, A. and Naderi, R., 2013.** A review on Phytoremediation of heavy metals contaminated soils. Human & Environment. 10(23): 35-49.
4. **Pendias, K.A. and Pendias, H., 2001.** Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press.
5. **Anderson, A., Anbarasu, A., Pasupuleti, R.R., Sekar, M., Praveenkumar, T. and Kumar, J.A., 2022.** Treatment of heavy metals containing wastewater using biodegradable adsorbents: A review of mechanism and future trends. Chemosphere. 133724.

6. **Shaikh, I.R., Shaikh, P.R., Shaikh, R.A. and Shaikh, A.A., 2013.** Phytotoxic effects of heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on Wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth in black cotton soil of Nanded. Research Journal of Chemical Sciences. ISSN.2231:606X.
7. **Pour-Aboughadareh, A., Mehrvar, M.R., Sanjani, S., Amini, A., Nikkhah-Chamanabad, H., Asadi, A., 2021.** Effects of salinity stress on seedling biomass, physiochemical properties, and grain yield in different breeding wheat genotypes. Acta Physiologiae Plantarum. 43(7): 1-14.
8. **Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber, H. and Zechner, E., 2007.** Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing conditions. Field Crops Research. 101(3): 343-351.
9. **Gül, E., 2021.** First report of Peronospora variabilis on Chenopodium quinoa in Turkey. Journal of Plant Pathology. 103(1): 389-390.
10. **Leatherwood, W.R., 2005.** Influence of Salt Stress on Germination, Root Elongation and Carbohydrate Content of Five Salt Tolerant Taxa.
11. **Rules, I., 2008.** Handbook on Seed Health. Zurich, Switzerland: International Seed Testing Association.
12. **Ünan, R., 2016.** Çeltikte (*Oryza sativa* L.) soğuk stresinin verim ve kalite unsurlarina etkileri ile soğuk stresine toleransli genotiplerin morfolojik ve moleküler yöntemlerle belirlenmesi. (In Turkish)
13. **Pastuszak, J., Dziurka, M., Hornyák, M., Szczerba, A., Kopeć, P. and Płażek, A., 2022.** Physiological and Biochemical Parameters of Salinity Resistance of Three Durum Wheat Genotypes. International Journal of Molecular Sciences. 23(15): 8397.
14. **Kaab Omair, H., Golabi, M., Naseri, A.A. and Boroomand Nasab, S., 2021.** Effect of Saline Water on Seed Germination Indices of *Salvia hispanica* L., *Cyamopsis Tetragonoloba* L., *Luffa Cylindrical* L., and *Momordica Charantia* L. (Chia, Guar, Luffa, and Karela). Irrigation Sciences and Engineering. 44(2): 93-112.
15. **Baranova, E.N. and Gulevich, A.A., 2021.** Asymmetry of plant cell divisions under salt stress. Symmetry. 13(10): 1811.
16. **Panuccio, M., Jacobsen, S., Akhtar, S. and Muscolo, A., 2014.** Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. AoB plants. 6.
17. **Farhoudi, R. and Tafti, M.M., 2011.** Improvement in germination and seedling growth of Astracantha adescendens. Research on Crops. 12(2): 440-444.
18. **Gomes-Filho, E., Machado Lima, C., Costa, J., da Silva, A., d Guia Silva, L.M., de Lacerda, C.F. and Prisco, J.T., 2008.** Cowpea ribonuclease: Properties and effect of NaCl-salinity on its activation during seed germination and seedling establishment. Plant Cell Reports. 27: 147-157.
19. **Ryu, H. and Cho, Y.G., 2015.** Plant hormones in salt stress tolerance. Journal of Plant Biology. 58(3):147-155.
20. **Othman, Y., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. and Al Horani, A., 2006.** Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. World J Agric Sci. 2(1): 11-15.
21. **Asaadi, A.M., 2009.** Investigation of salinity stress on seed germination of Trigonella foenum-graecum. Research Journal of Biological Sciences. 4(11): 1152-1155.
22. **Koyro, H.W., 2002.** Ultrastructural effects of salinity in higher plants. Salinity: Environment-Plants-Molecules: Springer. 139-157.
23. **Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S. and Piernik, A., 2020.** Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. Agronomy. 10(6): 859.
24. **Kaymakanova, M., Stoeva, N. and Mincheva, T., 2008.** Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Central European Agriculture. 9(4): 749-755.
25. **Bybordi, A. and Tabatabaei, J., 2009.** Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 37(2): 71-76.
26. **Finch-Savage, W.E. and Leubner-Metzger, G., 2006.** Seed dormancy and the control of germination. New phytologist. 171(3): 501-523.
27. **Jamil, M., Rehman, S. and Rha, E., 2007.** Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). Pak J Bot. 39(3): 753-760.
28. **Asgari, F., Sajadi, N., Zaeimdar, M., Sadeghi, M. and Tehrani, M., 2021**Measuring heavy metals in the feather of a *Columba livia* and food consumed (mature wheat grian and Germinated wheat) in zinc industrial zone of zanjan. Journal of animal environment. 13(3): 69-80. (In Persian)
29. **Baghalian, K., Haghiry, A., Naghavi, M.R. and Mohammadi, A., 2008.** Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). Scientia Horticulturae. 116(4): 437-441.
30. **Firozshahian, F., Payandeh, K.H. and Sabz alipour, S., 2019.** Evaluation of heavy contamination of metals (Nickel, Cadmium and Vanadium) in water and hawalzim wetland sediment in Khuzestan province. Journal of animal environment. 11(4) 359-368. (In Persian)
31.