Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 16, Issue 4, 2024 p: 112-128

OPEN ACCESS

Research Paper

Screening 215 Lentil Genotypes under Salinity Stress During the Seedling Stage in Greenhouse Conditions

Ahmad Nezami[1], Jafar Nabati[2], Mohammad Kafi[3] and Elaheh Boroumand Rezazadeh[4]

1- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, (Corresponding author: nezami@um.ac.ir)
2- Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- PhD in Crop Ecology, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 16 May, 2024 Accepted: 22 September, 2024

Extended abstract

Background: Salinity stress is one of the environmental stresses that significantly affects the growth of crops, especially in arid and semi-arid regions. With the expansion of salinity, using saline lands for agricultural production has become a significant challenge. Lentil grows in various climatic conditions; however, this plant is sensitive to saline stress. Using saline-tolerant lentil cultivars can help increase production and efficiency in saline soils due to biological nitrogen fixation. This study aimed to investigate the diversity of salinity tolerance in 215 lentil genotypes and select superior genotypes tolerant to salinity.

Methods: This study was conducted in the research greenhouse of the Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, in 2017. In this experiment, 215 lentil genotypes were studied using a completely randomized design with three replications under hydroponic conditions at 12 $dS.m^{-1}$ sodium chloride salinity. Salinity stress was applied one week after germination. The irrigation method was closed-circuit trickle irrigation. The nutrient solution was replaced weekly, and the salinity level of the nutrient solution was monitored and adjusted daily. Four weeks after the saline treatment, the following parameters were measured and recorded in the vegetative stage: plant height, the number of branches per plant, plant survival rate, the survival percentage of leaves, the percentage of shed leaves, shoot fresh and dry weights, and sodium and potassium contents of shoot. After conducting the data normality test and homogeneity of variances, the means were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at a 5% probability level. Cluster analysis using the Ward method, factor analysis, correlation between traits, and the by-plot were performed on the data. The performed grouping was validated through a multivariate analysis of variance and discriminant function analysis. Additionally, to examine the differences between groups in terms of various traits, the means of the groups were compared for the investigated traits.

Results: The evaluation of the frequency distribution of lentil genotypes in survival ranges showed that 12% of the genotypes (25 genotypes) had a survival rate of upper 80%, 15 genotypes of which had a survival rate of 100%. On the other hand, 36% of the genotypes (78 genotypes) had a survival rate of less than 20%, with 39 genotypes showing no survival four weeks after 12 dSm^{-1} salinity stress. In the range of 100-81% survival, six genotypes were at the podding stage. Plant height decreased with a decrease in the survival percentage due to salinity stress. The highest percentage of remaining leaves and the lowest amount of leaf shedding were observed in the three survival ranges of 100-81%, 80-61%, and 60-41%. With a decrease in the survival percentage from 100-81% to 80-61%, 60-41%, and 20-0%, the dry weight of the plant decreased by 13.5%, 22.7%, 36.6%, and 2.03 times, respectively. The tissue water content only significantly decreased in the survival range of 20-0%, and there was no significant difference in this parameter in the other survival ranges. With a decrease in the survival percentage from 100-81% to 80-61%, 60-41%, and 20-0%, sodium concentrations increased by 36%, 48%, 62%, and 2.8 times, respectively. Based on factor analysis under salinity stress conditions, three factors were selected that altogether accounted for 74.4 % of the total data variance. Factor analysis showed that the first factor explained approximately 45.98 % of the variance, which

Copyright ©2024 Nezami et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

included the percentage of survival, growth stage, plant height, branches number per plant, shoot fresh and dry weights, relative water content with negative loading, sodium concentration, and sodium to potassium ratio with positive loading. The second factor explained approximately 20.1% of the variance, which included the survival percentage of leaves with a positive loading and the percentage of shed leaves with a negative loading. The third factor accounted for 4.8% of the variance, which included potassium concentration with a positive loading. Cluster analysis results showed that the 215 lentil genotypes were grouped into eight plotted groups. The results of discriminant function analysis showed that 92.6% of genotypes were correctly classified, and the success rate of the discriminant function was 100% in groups six, seven, and eight.

Genotypes of the cluster sixth, including MLC25, MLC47, MLC64, and MLC77, had the highest values in all studied traits, including survival percentage and growth stage, plant height, branches number per plant, leaf survival percentage, shoot fresh and dry weights, relative water content, and potassium concentration, while they had the lowest values in the percentage of shed leaves, sodium concentration, and the sodium to potassium ratio.

Conclusion: Generally, genotypes MLC25, MLC47, MLC64, and MLC77 had the highest values for all studied traits, including survival percentage, growth stage, plant height, the number of lateral branches, the percentage of remaining leaves, fresh and dry weights of shoot, tissue water content, and potassium concentration, while they had the lowest percentage of leaf shedding, sodium concentration, and the Na/K ratio. Considering the superiority of these genotypes in the studied traits, genotypes belonging to this group can be used to study the superior traits in complementary salinity stress studies.

Keywords: Growth stage, Percentage of remaining leaves, Potassium, Sodium, Survival percentage

How to Cite This Article: Nezami, A., Nabati, J., Kafi, Mohammad., & Boroumand Rezazadeh, E. (2024). Screening 215 Lentil Genotypes under Salinity Stress During the Seedling Stage in Greenhouse Conditions. *J Crop Breed,* 16(4), 112-128. DOI: 10.61186/jcb.16.4.112

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

غربالگری ۲۱۵ ژنوتیپ عدس (*Lens culinaris* Medik) تحت تنش شوری در مرحله گیاهچه در گلخانه

احمد نظامی[۱]، جعفر نباتی[۲]، محمد کافی[۳] و الهه برومند رضازاده[۴]

۱- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، (نویسنده مسوول: nezami@um.ac.ir)
۲- استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱
صفحه: ۱۱۲ تا ۱۲۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش شوری ازجمله تنش‌های محیطی است که تولید گیاهان زراعی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه گسترش شوری، استفاده از اراضی شور برای تولید محصولات زراعی به یک چالش مهم تبدیل شده است. عدس در طیف گسترده‌ای از شرایط اقلیمی رشد می‌کند؛ با این‌وجود این گیاه حساس به تنش شوری است. استفاده از ارقام متحمل به شوری عدس به‌دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌تواند به افزایش تولید و بهره‌وری در زمین‌های شور کمک کند. هدف از این مطالعه بررسی تنوع تحمل به شوری گیاهچه‌های ۲۱۵ ژنوتیپ عدس و گزینش ژنوتیپ‌های برتر متحمل به شوری بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تعداد ۲۱۵ ژنوتیپ عدس در شرایط هیدروپونیک با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم موردمطالعه قرار گرفت. یک هفته پس از سبز شدن گیاهچه‌ها، تنش شوری اعمال شد. روش آبیاری به‌صورت بسته بود، محلول غذایی به‌صورت هفتگی جایگزین و میزان شوری محلول غذایی به‌صورت روزانه پایش و تنظیم گردید. چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، مرحله نموی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، درصد بقاء بوته، درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده، وزن تر و خشک اندام هوایی محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی ثبت و اندازه‌گیری شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward، تجزیه به عامل‌ها، همبستگی بین صفات و ترسیم نمودارهای دوبعدی انجام شد. برای تأیید صحت گروه‌بندی انجام شده، از تجزیه واریانس چند متغیره، تجزیه تابع تشخیص انجام شد. همچنین برای بررسی تفاوت گروه‌ها از لحاظ صفات مختلف، مقایسه میانگین گروه‌ها برای صفات مورد بررسی انجام شد.

یافته‌ها: بررسی توزیع فراوانی ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء نشان داد که ۱۲ درصد از ژنوتیپ‌ها (۲۵ ژنوتیپ) دارای بقای بالای ۸۰ درصد بودند که در این میان ۱۵ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد بودند. از سوی دیگر ۳۶ درصد ژنوتیپ‌ها (۷۸ ژنوتیپ) دارای بقای کمتر از ۲۰ درصد بودند که در این میان ۳۹ ژنوتیپ چهار هفته پس از اعمال $12 dS.m^{-1}$ شوری هیچ‌گونه بقایی نداشتند. در دامنه بقای ۱۰۰-۸۱ درصد، شش ژنوتیپ در مرحله غلاف دهی بودند. با کاهش درصد بقاء در اثر تنش شوری، ارتفاع بوته کاهش پیدا کرد. در سه دامنه بقای بین ۱۰۰-۸۱، ۸۰-۶۱ و ۶۰-۴۱ درصد بیشترین درصد برگ باقی‌مانده و کمترین میزان ریزش برگ مشاهده شد. با کاهش درصد بقاء از ۱۰۰-۸۱ به ۸۰-۶۱، ۶۰-۴۱ و ۲۰-۰ درصد، وزن خشک بوته به‌ترتیب ۱۳/۵، ۲۲/۷، ۳۶/۶ درصد و ۲/۰۳ برابر کاهش یافت. محتوای آب بافت تنها در دامنه بقای ۲۰-۰ درصد به‌طور چشمگیری کاهش یافت و در سایر دامنه‌های بقاء تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشت. غلظت سدیم با کاهش درصد بقاء از ۱۰۰-۸۱ به ۸۰-۶۱، ۶۰-۴۱ و ۲۰-۰ درصد به‌ترتیب ۳۶، ۴۸، ۶۲ درصد و ۲/۸ برابر افزایش یافت. براساس تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش شوری، به‌طور کلی سه عامل انتخاب شدند که جمعاً ۷۴/۴ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. تجزیه به عامل‌ها نشان داد که عامل اول حدود ۴۵/۹۸ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل درصد بقاء، مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی و محتوای آب بافت با بار منفی و غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم با بار مثبت بود. عامل دوم حدود ۲۰/۱ درصد تغییرات را توجیه کرد که شامل درصد برگ باقی‌مانده با بار مثبت و درصد برگ ریزش کرده با بار منفی بود. عامل سوم نیز ۸/۴ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل غلظت پتاسیم با بار مثبت بود. نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه عدس نشان دهنده قرارگیری آن‌ها در هشت گروه مجزا بود. نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که ۹۲/۶ درصد از ژنوتیپ‌ها به‌طور صحیح گروه‌بندی شده‌اند و میزان موفقیت تابع تشخیص، در گروه‌های شش، هفت و هشت ۱۰۰ درصد بود. ژنوتیپ‌های متعلق به گروه ششم شامل MLC25، MLC47، MLC64 و MLC77 در تمامی صفات مورد مطالعه ازجمله درصد بقاء و مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، درصد برگ باقی‌مانده، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای آب بافت و غلظت پتاسیم بیشترین مقدار و از نظر درصد برگ ریزش کرده، غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم کمترین مقدار را دارا بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی ژنوتیپ‌های MLC25، MLC47، MLC64 و MLC77 در تمامی صفات مورد مطالعه از جمله درصد بقاء، مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، درصد برگ باقی‌مانده، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای آب بافت و غلظت پتاسیم بیشترین مقدار و از نظر درصد برگ ریزش کرده، غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم کمترین مقدار را دارا بودند. با توجه به برتری این ژنوتیپ‌ها در صفات مورد مطالعه می‌توان از ژنوتیپ‌های متعلق به این گروه به‌منظور استفاده از صفات برتر آن‌ها در مطالعات تکمیلی تنش شوری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، درصد برگ باقی‌مانده، درصد بقاء، سدیم، مرحله رشدی

مقدمه

تنش شوری ازجمله تنش‌های محیطی است که تولید گیاهان زراعی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Haileselasie & Teferii, 2012). وجود نمک در خاک یا آب آبیاری از طریق ایجاد اثرات اسمزی و نیز سمیت یونی حاصل از تجمع نمک در گیاه (Qadir & Oster, 2004)، سبب بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی نظیر کاهش جوانه‌زنی بذر، کاهش طول ریشه و ساقه، ریزش برگ‌ها، تغییر انسجام غشاء سلولی، تغییر در فعالیت‌های مختلف آنزیمی و فتوسنتز (Arshi *et al*., 2002; Sairam and Tyagi, 2004; Amooaghaie *et al*., 2014; Tepe & Aydemir, 2015) و درنهایت کاهش رشد گیاه، عملکرد و گاهی نیز کیفیت محصول می‌گردد (Qadir & Oster, 2004). نوع واکنش فیزیولوژیکی

و تغییرات متابولیکی بسته به گونه گیاهی و اندام گیاه در شرایط تنش شوری متفاوت است (Tepe & Aydemir, 2015). همچنین ازنظر تحمل به شوری بین ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) اختلاف وجود دارد (Murillo-Amador *et al*., 2001).

حبوبات به‌عنوان گیاهانی که بخش عمده‌ای از نیاز آبی آن‌ها توسط نزولات جوی تأمین می‌شود، می‌توانند ضمن حفظ منابع آبی و افزایش حاصلخیزی خاک به‌عنوان محصولات درآمدزا در مناطق شور موردتوجه قرار گیرند. در بین حبوبات، عدس (*Lens culinaris* Medik) با سطح زیر کشتی معادل ۱۳۲/۳۴ هزار هکتار در کشور بعد از نخود (*Cicer ariethinum* L.) در جایگاه دوم قرار داشته و بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت آن نیز متعلق به اراضی دیم می‌باشد (FAOSTAT, 2022)؛ اما این گیاه همانند بسیاری دیگر از حبوبات ازجمله گیاهان حساس به شوری به‌شمار می‌آید (Ashraf & Waheed, 1993). لذا نیاز است تا از بین تعداد زیاد ژنوتیپ‌های موجود در کشور به‌گزینی صورت گرفته و ژنوتیپ‌های متحمل به شوری جهت کشت در مناطق شور انتخاب شوند.

مطالعات متعددی در خصوص تأثیر تنش شوری بر گیاه عدس صورت گرفته و صفات مختلفی در این‌راستا مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از اعمال سطوح شوری چهار و هفت دسی‌زیمنس بر متر بر ژنوتیپ‌های عدس حاکی از کاهش سطح برگ و وزن خشک بوته بود هرچند که تفاوت بین سطوح تنش معنی‌دار نبود. همچنین ژنوتیپ‌های موردبررسی ازنظر وزن خشک تفاوت معنی‌داری نشان دادند (Saadeghi-Azar *et al*., 2014).

نتایج مطالعه دیگری نشان داد که اعمال سطوح ۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم به‌مدت هفت روز سبب کاهش ویژگی‌های رشدی عدس شامل طول و وزن اندام هوایی و ریشه گیاه گردید و میزان کاهش در سطوح بالای تنش بیشتر بود. همچنین میزان نشت الکترولیت‌ها در سطوح مختلف تنش شوری به‌طور معنی‌داری بیش از شاهد بود. در این آزمایش کاربرد ۵ و ۱۰ میکرومولار کلریدکلسیم توانست تا حدی شدت نشت الکترولیت‌ها را کاهش دهد هرچند که این کاهش به‌لحاظ آماری معنی‌دار نبود (Tepe & Aydemir, 2015). در بررسی صورت گرفته روی گیاه ماش (*Vigna radiata*) نیز مشاهده شد که افزایش هدایت الکتریکی خاک سبب کاهش ارتفاع و وزن خشک بوته، میزان پتاسیم برگ نسبت پتاسیم به سدیم برگ گردید و در مقابل میزان تخریب غشاهای سلولی و مقدار سدیم برگ افزایش یافت (Farhoudi & Motamedi, 2017).

نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان شاخصی مناسب در ارزیابی تحمل گیاهان به شوری مطرح است (Ashraf *et al*., 2007). در طی بررسی ۱۶۲ ژنوتیپ عدس، تنوع بالایی از تحمل به شوری مشاهده گردید. در این آزمایش مقدار سدیم و کلر گیاه در غلظت ۱۲۰ میکرومولار نمک کلریدسدیم همبستگی معنی‌داری با جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، بقاء گیاهچه، رتبه‌بندی گیاهچه‌ها از نظر وضعیت ظاهری گیاه و مقدار پتاسیم در شرایط کنترل‌شده داشت (Singh *et al*., 2017).

با توجه به کاهش کیفیت منابع آب و گسترش روزافزون سطح اراضی شور در کشور، استفاده از حبوبات به‌منظور بهبود حاصلخیزی خاک در این شرایط می‌تواند در تولید پایدار این مناطق مؤثر باشد. از سوی دیگر عدم وجود ارقام متحمل به شوری در حبوبات به‌ویژه عدس موجب کاهش سطح کشت این گیاه در مناطق شور می‌گردد؛ بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تحمل به تنش شوری ۲۱۵ ژنوتیپ عدس موجود در بانک بذر پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد و گزینش ژنوتیپ‌های برتر متحمل به شوری بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تعداد ۲۱۵ ژنوتیپ عدس در شرایط هیدروپونیک (آب‌کشت) با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم (NaCl) موردمطالعه قرار گرفت. بذر ژنوتیپ‌های عدس مورد استفاده، از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند. بذرها در اسفندماه در گلخانه با دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد با دامنه تغییر ±۵ تنظیم و شرایط نور طبیعی کشت شدند. یک هفته پس از سبز شدن گیاهچه‌ها، تنش شوری اعمال شد. بستر مورداستفاده در این مطالعه ماسه بود و تغذیه با استفاده از محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1950) صورت گرفت. روش تغذیه به‌صورت بسته بود، محلول غذایی به‌صورت هفتگی جایگزین و میزان شوری محلول غذایی به‌صورت روزانه پایش و تنظیم گردید. چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، مرحله نموی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، درصد بقاء بوته، درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده، وزن تر و خشک اندام هوایی محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی ثبت و اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه درصد بقاء پیش از اعمال تنش شوری، تعداد بوته‌های سبز شده ثبت گردید و پیش از برداشت نیز تعداد بوته‌های زنده ثبت و درصد بقاء بر اساس معادله (۱) محاسبه گردید.

معادله (۱) تعداد بوته پیش از تنش / (۱۰۰ × تعداد بوته چهار هفته بعد از تنش) = درصد بقاء

براساس درصد بقاء، ژنوتیپ‌های گوناگون به پنج گروه ۸۱–۱۰۰، ۶۱–۸۰، ۴۱–۶۰، ۲۱–۴۰ و ۰–۲۰ درصد بقاء طبقه‌بندی شدند. در هر ژنوتیپ تعداد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده سه بوته شمارش و درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده محاسبه شد.

میزان سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی با استفاده از ۲۵۰ میلی‌گرم نمونه خشک آسیاب شده که به‌مدت ۲۴ ساعت در اسید نیتریک (HNO_3) غلیظ هضم و یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته بود با دستگاه فلیم‌فتومتر

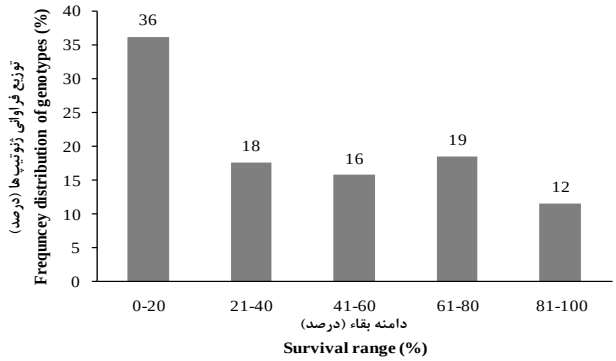
(UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم تعیین شد (Tandon, 1995).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های صفات توسط نرم‌افزار Minitab17 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج‌درصد انجام گرفت. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها در تمامی صفات به‌جز صفت مرحله رشدی با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward، تجزیه به عامل‌ها، همبستگی بین صفات و ترسیم نمودارهای دوبعدی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۱۹ و STATISTICA انجام شد. برای تأیید صحت گروه‌بندی انجام شده، از تجزیه واریانس چند متغیره، تجزیه تابع تشخیص با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. همچنین برای بررسی تفاوت گروه‌ها ازلحاظ صفات مختلف، مقایسه میانگین گروه‌ها برای صفات موردبررسی انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام گرفت.

نتایج و بحث

بقاء: ازنظر درصد بقاء بین ژنوتیپ‌های عدس موردمطالعه در سطح تنش شوری $12dS.m^{-1}$ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). بررسی توزیع فراوانی ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء نشان داد که ۱۲ درصد از ژنوتیپ‌ها (۲۵ ژنوتیپ) دارای بقای بالای ۸۰ درصد بودند (شکل ۱) که در این میان ۱۵ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد بودند (جدول ۱). از سوی دیگر ۳۶ درصد ژنوتیپ‌ها (۷۸ ژنوتیپ) دارای بقای کمتر از ۲۰ درصد بودند (شکل ۱) که در این میان ۳۹ ژنوتیپ چهار هفته پس از اعمال $12dS.m^{-1}$ شوری هیچ‌گونه بقایی نداشتند (جدول ۶). تنش شوری در دو مرحله گیاهان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، مرحله اول تنش خشکی است که در اثر پتانسیل اسمزی و به‌دلیل حضور نمک ایجاد می‌گردد. مرحله دوم سمیت یونی است که در اثر ورود یون سدیم و کلر در کلروپلاست سلول ایجاد می‌گردد که این مرحله از تنش شوری معمولاً بین سه تا چهار هفته پس از اعمال تنش شوری اتفاق می‌افتد (Munns, 2002). بقای عدس در تنش شوری به ویژگی‌های ژنتیکی گیاه و توانایی آن در سازگاری با تنش از طریق مکانیسم‌های تحمل بستگی دارد. در مطالعه‌ای ارزیابی تحمل به شوری عدس نشان داد که برخی از ژنوتیپ‌ها تحمل و بقای بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند و ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، محتوای پرولین بالاتر و نشت الکترولیت کمتر داشتند (Muscolo *et al*., 2015). در این مطالعه چهار هفته پس از اعمال تنش شوری $12dS.m^{-1}$ تعداد قابل‌توجهی از ژنوتیپ‌های موردمطالعه عدس (۲۵ ژنوتیپ) دارای بقای بالای ۸۰ درصد بودند. با توجه به حساسیت بالای حبوبات به تنش شوری (Garg & Singla, 2009) این تنوع در تحمل شوری می‌تواند در به‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس برای تحمل به شوری امیدبخش باشد.



شکل ۱- درصد فراوانی نسبی ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم
Figure. 1. Frequency of lentil genotypes in different survival ranges, after four weeks under $12dS.m^{-1}$ NaCl salinity

مرحله رشدی: بررسی مرحله رشدی ژنوتیپ‌ها نشان داد که در دامنه بقای بین ۱۰۰-۸۱ و ۸۰-۶۱ درصد به‌ترتیب ۴۰ و ۵۵ درصد از ژنوتیپ‌ها در مرحله رشدی پس از گلدهی قرار داشتند و در این دو دامنه بقاء ۱۲ ژنوتیپ در مرحله آغاز غلاف‌دهی و غلاف‌دهی بودند (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی مرحله نموی در سایر دامنه‌های درصد بقاء نشان داد در دامنه‌های بقای ۶۰-۴۱، ۴۰-۲۱ و ۲۰-۰ درصد به‌ترتیب ۳۸، ۲۹ و ۱۷ درصد از ژنوتیپ‌ها در مرحله رشدی پس از گلدهی قرار داشتند (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶).

شوری تأثیر قابل‌توجهی بر مراحل رشد گیاهان دارد. مقدار بالای نمک در محیط رشد گیاه می‌تواند بر جذب آب توسط گیاه تأثیرگذار و منجر به تنش خشکی و کاهش رشد شود (Houle *et al*., 2001). همچنین شوری می‌تواند در جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم اختلال ایجاد کند که درنهایت منجر به کمبود عناصر غذایی و توقف رشد شود. از طرفی، شوری می‌تواند باعث عدم تعادل یونی در گیاه شود، زیرا یون‌های سدیم و کلر اضافی می‌توانند در برگ‌ها تجمع کرده و در فرآیندهای متابولیک طبیعی اختلال ایجاد کنند (Munns & Tester, 2008). ژنوتیپ‌هایی که قادر به مدیریت مناسب شوری چه ازلحاظ ممانعت از ورود نمک به داخل گیاه و جایگذاری مناسب نمک در اندامک‌های سلولی باشند، مدت‌زمان طولانی‌تری در شرایط تنش شوری دوام

خواهند آورد. با این‌وجود یکی از استراتژی‌های مهم گیاهان، کاهش دوره رشد در شرایط تنش است. به‌گزینی ژنوتیپ‌هایی با دوره رشد کوتاه امکان موفقیت در تولید در شرایط تنش شوری را افزایش خواهد داد. در مطالعه حاضر در دامنه بقای ۱۰۰–۸۱ و ۶۱–۸۰ که شامل ژنوتیپ‌هایی با تحمل بیشتر نسبت به شوری بودند، ازنظر رشدی نیز در مراحل رشدی پیشرفته‌تری قرار داشتند (جدول‌های ۱ و ۲).

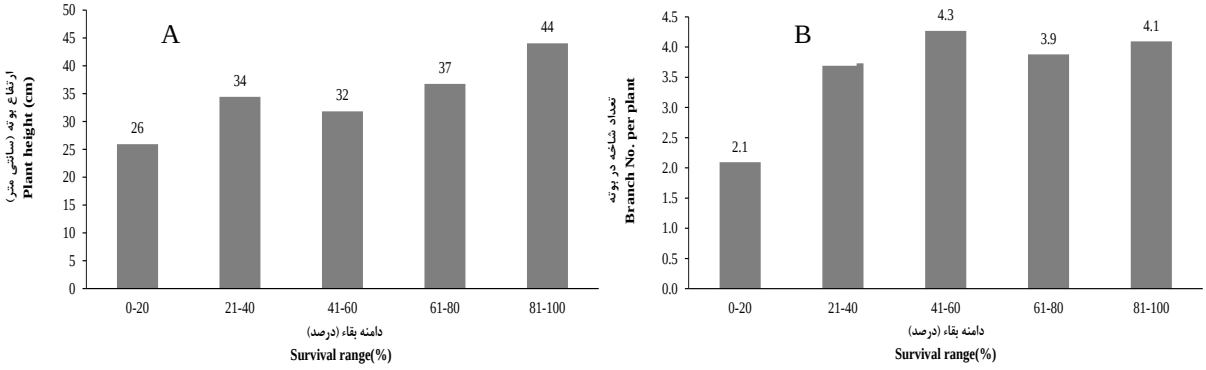
جدول ۱– تأثیر تنش شوری ۱۲dSm^{-1} کلریدسدیم بر صفت‌ها در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه بقای ۱۰۰ تا ۸۱ درصد

Table 1. Effect of sodium chloride salt stress (12dSm^{-1}) on lentil genotypes traits in survival range of 100 to 81%

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Genotype
0.53	19.9	10.5	78	607	2792	43	57	5.67	70	4	100	MLC4
0.47	18.7	8.7	79	996	4727	41	59	3.67	65	4	100	MLC5
0.19	22.3	4.2	77	615	2677	42	58	2.67	69	4	100	MLC6
0.16	25.9	4.2	79	1517	7126	39	61	8.33	54	4	100	MLC25
0.14	30.0	4.2	78	740	3422	56	44	4.33	46	1	100	MLC26
1.19	21.1	25.0	83	457	2680	60	40	3.67	41	2	100	MLC57
1.53	16.3	25.0	82	591	3281	56	44	6.67	33	2	100	MLC73
0.14	30.6	4.2	80	1491	7641	46	54	5.33	62	2	100	MLC77
0.31	28.2	8.7	80	338	1725	57	43	9.00	43	2	100	MLC78
0.68	27.6	18.7	80	797	3988	30	70	3.67	46	2	100	MLC81
3.11	10.4	32.2	83	135	775	50	50	3.00	25	1	100	MLC94
0.93	24.1	22.3	80	438	2177	62	38	5.33	40	2	100	MLC104
0.62	21.1	13.8	77	313	1398	0	100	3.00	35	3	100	MLC118
2.76	14.1	36.4	82	318	1822	43	57	3.67	24	1	100	MLC156
0.69	20.1	15.1	78	266	1236	100	0	1.00	27	1	100	MLC178
0.54	20.7	10.7	77	339	1481	0	100	2.00	35	3	96	MLC117
0.67	21.4	14.7	80	334	1630	0	100	3.33	35	3	96	MLC120
1.26	19.0	24.0	77	356	1594	21	79	3.67	30	3	93	MLC152
0.57	21.6	12.4	80	394	2045	11	89	4.33	35	5	88	MLC109
0.33	26.4	8.7	80	895	4428	67	33	3.33	55	2	88	MLC74
0.65	21.7	14.2	83	673	3928	15	85	5.00	45	2	86	MLC14
1.64	22.8	36.4	79	130	681	44	56	2.33	22	1	83	MLC192
0.53	23.5	12.3	80	502	2563	62	38	3.67	52	2	82	MLC12
0.59	22.3	13.3	79	302	1438	67	33	2.33	51	4	82	MLC13
0.34	22.9	7.8	72	624	2254	59	41	3.33	60	1	82	MLC108
0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	P value
1.63	7.49	31.1	7.18	98.5	561	22.8	22.8	1.40	18.9	0.0001	3.33	$LSD_{0.05}$
56.1	24.2	67.8	6.10	15.6	19.1	26.6	32.7	27.4	36.9	0.0001	5.44	CV%

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم. MLC: بانک بذر عدس مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات

A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight (mg.plant^{-1}), H: Shoot dry weight (mg.plant^{-1}), I: Tissue water content (%), J: Na (mg.gdw^{-1}), K: K (mg.gdw^{-1}), L: Na/K. MLC: Mashhad Lentil Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 probability level, CV: Coefficient of Variation.



شکل ۲– ارتفاع بوته (A) و تعداد شاخه در بوته (B) در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم

Figure 2. Plant height (A) and Branch No. (B) of lentil genotypes in survival ranges after four weeks of 12dS m^{-1} NaCl salinity

ارتفاع بوته: چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، ازنظر ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های عدس موردمطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). با کاهش درصد بقاء در اثر تنش شوری، ارتفاع بوته نیز کاهش پیدا کرد به‌نحوی‌که اختلاف ارتفاع بوته در دامنه بقای بین ۱۰۰–۸۱ نسبت به دامنه‌های بقاء ۸۰–۶۰، ۴۰–۲۱ و ۲۰–۰ درصد به‌ترتیب ۷، ۱۲، ۱۰ و ۱۸ سانتی‌متر بود (شکل ۲). بررسی همبستگی ارتفاع بوته با سایر صفات نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این ویژگی با درصد بقاء (r^2=۰/۲۹**) و مرحله رشدی (r^2=۰/۳۶**) وجود دارد (جدول ۷). بقاء و زنده‌مانی گیاهان در شرایط تنش امکان افزایش رشد و توسعه را برای گیاه فراهم می‌آورد. ژنوتیپ‌هایی که قادر به تحمل شوری بالاتری هستند از رشد بیشتری نیز برخوردار خواهند بود. همبستگی مثبت بین ارتفاع بوته و مرحله رشدی نیز بیانگر رشد بیشتر در ژنوتیپ‌هایی با مرحله رشدی پیشرفته‌تر می‌باشد.

ارتباط مستقیمی بین میزان جذب آب توسط گیاه و ارتفاع بوته وجود دارد. سطوح بالای نمک، جذب آب توسط گیاه را کاهش داده و منجر به تنش آبی و کاهش انبساط سلولی و درنهایت توقف رشد و کوتاه‌تر شدن ارتفاع بوته می‌شود. از طرفی کاهش جذب آب توسط ریشه، کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش فتوسنتز را در پی خواهد داشت (Puvanitha & Mahendran, 2017)؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که تحمل به شوری بیشتری داشته باشند، ممکن است بتوانند رشد و ارتفاع طبیعی خود را در شرایط شور حفظ کنند.

جدول ۲- تأثیر تنش شوری ۱۲dSm^{-1} کلرید سدیم بر صفت‌های موردمطالعه در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه بقای ۸۰ تا ۶۱ درصد
Table 2. Effect of sodium chloride salt stress (12dSm^{-1}) on lentil genotypes traits in survival range of 80 to 61%

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Genotype
0.61	21.7	13.3	78	560	2558	70	30	4.33	61	4	80	MLC24
0.06	25.9	1.50	82	1381	7615	13	87	5.67	65	2	80	MLC64
0.87	26.3	22.7	76	282	1240	50	50	3.00	30	3	80	MLC114
1.04	22.3	23.8	80	328	1659	12	88	2.00	31	3	78	MLC197
1.44	18.6	26.8	81	459	2517	14	86	2.33	29	3	78	MLC115
1.82	13.6	24.7	76	530	2229	55	45	3.33	43	1	78	MLC103
1.14	22.9	25.9	83	325	1925	11	89	1.33	30	3	77	MLC227
0.75	28.3	21.4	81	193	994	6	94	4.67	21	3	76	MLC198
0.40	21.7	8.73	81	683	3505	50	50	3.00	67	4	75	MLC3
1.96	12.7	25.0	80	792	3970	69	31	9.00	41	4	75	MLC95
2.09	15.4	32.4	83	238	1390	19	81	2.00	24	3	75	MLC148
2.13	16.1	34.2	86	283	1959	12	88	3.67	23	1	75	MLC209
1.89	18.8	34.5	86	210	1503	27	73	4.00	23	1	74	MLC231
1.43	18.9	27.4	80	365	1857	44	56	1.67	30	2	74	MLC195
1.25	12.7	16.0	82	631	3462	67	33	6.67	36	2	73	MLC76
0.55	32.6	17.7	82	334	1864	13	87	2.67	29	3	73	MLC116
0.49	28.9	13.9	83	250	1477	34	66	3.33	23	3	72	MLC113
0.78	20.5	16.0	81	752	3872	59	41	6.67	50	3	71	MLC62
0.70	26.2	18.3	83	268	1588	4	96	2.00	29	3	68	MLC153
0.26	26.4	6.92	81	994	5361	43	57	5.33	75	2	67	MLC8
0.48	25.9	12.3	80	650	3252	43	57	9.33	53	4	67	MLC15
2.18	12.7	27.7	81	364	1932	43	57	4.33	27	2	67	MLC16
1.43	17.5	25.0	78	740	3331	77	23	3.00	54	2	67	MLC27
0.57	26.4	15.1	79	755	3623	65	35	6.00	63	4	67	MLC44
0.36	27.0	9.64	71	1010	3487	56	44	5.67	45	2	67	MLC67
0.71	27.6	19.6	74	193	741	76	24	3.00	25	1	67	MLC68
0.30	28.8	8.73	74	1217	4617	70	30	4.50	45	2	67	MLC96
0.91	25.9	23.6	78	201	923	31	69	3.00	26	3	67	MLC143
1.06	21.5	23.2	82	236	1269	29	71	1.67	26	3	67	MLC170
0.76	33.0	25.0	83	312	1802	24	76	4.00	27	1	64	MLC105
0.72	28.4	20.3	78	201	951	36	64	2.33	23	3	64	MLC225
0.94	21.7	20.5	72	1285	4604	44	56	6.00	56	5	64	MLC85
0.83	20.8	16.5	82	224	1203	0	100	3.00	22	1	64	MLC169
1.19	26.1	30.6	86	301	2203	2	98	2.67	28	1	63	MLC229
0.94	19.9	18.7	81	991	5354	45	55	4.00	53	2	63	MLC9
1.78	19.1	32.1	80	110	554	11	89	1.67	20	1	63	MLC175
1.27	19.5	22.7	86	365	2557	6	94	2.33	28	3	62	MLC234
1.20	22.3	26.8	84	545	3361	48	52	3.67	41	3	62	MLC36
0.92	21.8	20.2	81	168	886	5	95	5.33	27	3	61	MLC124
1.84	20.3	37.4	85	246	1653	100	0	3.00	24	1	61	MLC188
0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	P value
1.63	7.49	31.1	7.18	98.5	561	22.8	22.8	1.40	18.9	0.0001	3.33	$LSD_{0.05}$
56.1	24.2	67.8	6.10	15.6	19.1	26.6	32.7	27.4	36.9	0.0001	5.44	CV%

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم .MLC : بانک بذر عدس مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.
A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight (mg.plant^{-1}), H: Shoot dry weight (mg.plant^{-1}), I: Tissue water content (%), J: Na (mg.gdw^{-1}), K: K (mg.gdw^{-1}), L: Na/K. MLC: Mashhad Lentil Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 probability level, CV: Coefficient of Variation.

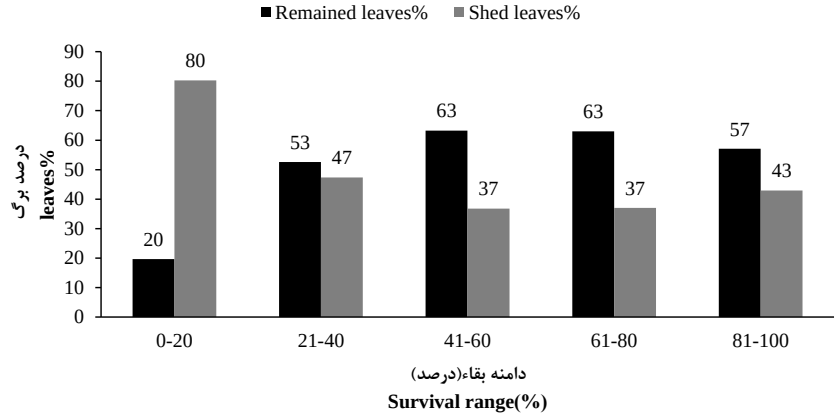
شاخه فرعی: بین ژنوتیپ‌های عدس ازنظر تعداد شاخه فرعی تفاوت معنی‌داری در شرایط تنش شوری ۱۲dS.m^{-1} مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). بررسی میانگین تعداد شاخه فرعی در دامنه‌های بقاء نشان داد که در دو دامنه بقای بین ۴۰-۲۱ و ۲۰-۰ درصد کمترین تعداد شاخه فرعی وجود داشت (شکل ۲). بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که تعداد شاخه‌های فرعی با بقاء (r^2=۰/۴۱**)، مرحله رشدی (r^2=۰/۳۹**) و ارتفاع بوته (r^2=۰/۳۴**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

اثر تنش شوری بر تعداد شاخه‌های فرعی گیاه بسته به‌شدت و مدت تنش شوری می‌تواند متفاوت باشد. برخی از ژنوتیپ‌ها ممکن است نسبت به سایرین تحمل بیشتری به شوری داشته باشند و بتوانند در شرایط شوری تعداد انشعاب طبیعی خود را حفظ کنند (Kumar *et al*., 2021). در این مطالعه نیز مشاهده شد که ژنوتیپ‌هایی که بقاء و رشد بیشتری داشتند از تعداد شاخه فرعی بیشتری نیز برخوردار بودند درواقع تنش شوری مانع توسعه شاخه‌های فرعی در این ژنوتیپ‌ها نشده است.

جدول ۳- تأثیر تنش شوری $12dSm^{-1}$ کلریدسدیم بر صفت‌های موردمطالعه در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه بقای ۶۰ تا ۴۱ درصد
Table 3. Effect of sodium chloride salt stress ($12dSm^{-1}$) on lentil genotypes traits in survival range of 60 to 41%

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Genotype
1.26	16.3	20.5	84	858	5277	41	59	6.67	32	2	60	MLC75
1.44	24.2	31.4	83	210	1199	15	85	2.00	25	1	60	MLC193
1.01	21.9	21.2	81	167	855	17	83	3.00	27	1	58	MLC125
0.41	19.5	7.90	75	411	1688	0	100	2.67	35	3	58	MLC119
0.22	31.8	6.92	82	1350	7495	42	58	7.00	49	2	57	MLC47
0.71	27.6	19.6	83	765	4417	3	97	4.33	34	1	57	MLC50
0.34	29.2	9.72	83	301	1741	0	100	3.33	26	1	57	MLC164
0.77	26.4	20.1	83	380	2303	9	91	3.00	30	3	55	MLC139
0.58	20.1	11.9	79	300	1414	0	100	4.33	33	3	54	MLC149
0.43	23.9	10.2	81	348	1820	5	95	4.67	33	3	53	MLC112
0.69	23.5	16.2	82	208	1186	0	100	2.33	27	3	53	MLC144
0.48	27.5	13.3	82	187	1059	4	96	2.00	23	1	52	MLC167
2.25	12.7	28.6	76	215	900	92	8	4.33	24	2	50	MLC56
1.06	13.3	14.2	83	555	3229	48	52	6.00	44	2	50	MLC59
2.32	11.5	26.8	84	573	3663	88	12	4.50	29	2	50	MLC65
1.53	16.9	25.9	79	588	2740	71	29	6.00	41	4	50	MLC79
2.21	12.1	26.8	73	556	2024	70	30	8.00	37	4	50	MLC82
1.52	15.9	23.0	81	170	885	24	76	1.67	23	1	50	MLC222
3.35	14.7	49.0	85	235	1845	61	39	4.67	23	1	48	MLC136
1.20	31.1	33.0	79	145	729	39	61	2.67	20	1	47	MLC111
1.03	23.5	24.1	83	782	4736	57	43	5.67	33	4	47	MLC29
1.30	19.3	25.0	77	399	1739	51	49	4.00	42	2	44	MLC1
0.63	24.1	15.1	81	353	1840	65	35	3.00	36	2	44	MLC7
0.50	24.7	12.3	80	910	4544	63	38	4.33	57	4	44	MLC11
1.24	21.7	26.8	84	940	5833	26	74	4.33	34	1	44	MLC49
0.53	28.2	15.1	80	856	4246	46	54	6.33	45	2	44	MLC87
3.40	14.7	48.5	84	153	1036	50	50	3.67	19	1	44	MLC145
1.76	15.5	27.2	83	212	1228	18	82	2.33	22	1	44	MLC146
0.47	28.2	13.3	80	805	4022	62	38	5.67	38	3	43	MLC46
1.71	19.9	34.0	80	454	2217	95	5	4.33	35	1	43	MLC55
2.87	15.0	41.7	82	345	1947	35	65	4.67	24	3	43	MLC147
1.76	21.7	37.2	87	178	1386	6	94	3.00	24	1	43	MLC235
1.53	18.1	27.7	79	351	1689	49	51	6.67	29	4	42	MLC30
1.07	15.2	16.1	78	446	2022	0	100	4.00	29	3	41	MLC211
0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	P value
1.63	7.49	31.1	7.18	98.5	561	22.8	22.8	1.40	18.9	0.0001	3.33	$LSD_{0.05}$
56.1	24.2	67.8	6.10	15.6	19.1	26.6	32.7	27.4	36.9	0.0001	5.44	CV%

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم .MLC : بانک بذر عدس مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات.
A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight ($mg.plant^{-1}$), H: Shoot dry weight ($mg.plant^{-1}$), I: Tissue water content (%), J: Na ($mg.gdw^{-1}$), K: K ($mg.gdw^{-1}$), L: Na/K. MLC: Mashhad Lentil Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. LSD: Least Significant Difference in $p \leq 0.05$ probability level, CV: Coefficient of Variation.



شکل ۳- درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم
Figure 3. Remained and shed leaves percentage of lentil genotypes in survival ranges after four weeks of 12dS m^{-1} NaCl salinity

بقای برگ: درصد برگ باقی‌مانده در ژنوتیپ‌های عدس با افزایش درصد بقاء افزایش و درصد برگ ریزش کرده با افزایش درصد بقاء کاهش یافت (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). در سه دامنه بقای بین ۱۰۰-۸۱، ۸۰-۶۱ و ۶۰-۴۱ درصد بیشترین درصد برگ باقی‌مانده و کمترین میزان ریزش برگ مشاهده شد. با کاهش بقاء به زیر ۲۰ درصد، میزان ریزش برگ به‌شدت افزایش یافت به‌نحوی‌که در دامنه بقای ۲۰-۰ درصد، ۸۰ درصد برگ‌ها ریزش کرد. در میان ژنوتیپ‌های موردمطالعه ژنوتیپ‌های MCC117، MCC118، MCC120، MCC144، MCC149، MCC164،

MCC169 و MCC211 دارای ۱۰۰ درصد برگ باقی‌مانده بودند (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که بین درصد برگ باقی‌مانده و درصد بقاء (r^2=۰/۵۲**) و تعداد شاخه فرعی (r^2=۰/۲۱**) رابطه مثبت و معنی‌دار و بین درصد برگ ریزش کرده با درصد بقاء (r^2=-۰/۵۳**) و تعداد شاخه فرعی (r^2=-۰/۲۱**) رابطه منفی و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۷).

بقای برگ‌ها در طول تنش شوری به گونه‌های گیاهی و مکانیسم‌های سازگاری آن برای مقابله با تنش شوری بستگی دارد. برخی از گیاهان استراتژی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی را برای تحمل تنش شوری و محافظت از برگ‌های خود ایجاد کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال، برخی از گیاهان می‌توانند با جلوگیری از جذب یون‌ها از طریق ریشه یا با جایگذاری آن‌ها در واکوئل از تجمع یون‌های نمک در برگ‌های خود جلوگیری کنند (Negrao *et al*., 2017). این مکانیسم‌ها به حفظ غلظت کم یون‌های نمک در سلول‌های برگ کمک می‌کند و آسیب و نکروز را کاهش می‌دهد. برخی گیاهان می‌توانند پتانسیل اسمزی خود را با تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین، گلیسین، بتائین و کربوهیدرات‌های محلول تنظیم کنند. این املاح آلی به حفظ فشار تورژسانس و جلوگیری از اتلاف آب از برگ‌ها حتی در غلظت‌های بالای نمک کمک می‌کند. علاوه بر این، گیاهان می‌توانند سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی خود را برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که می‌توانند در طول تنش شوری در برگ‌ها تجمع کنند، فعال کنند. به‌طورکلی، بقای برگ‌ها در طول تنش شوری به توانایی گیاه در تنظیم جذب آب و یون و حفظ هموستاز سلولی بستگی دارد (Acosta-Motos *et al*., 2017). درک مکانیسم‌های تحمل به شوری در گونه‌های گیاهی می‌تواند به شناسایی ارقامی که می‌توانند در شرایط شور زنده مانده و رشد کنند کمک کند. در مطالعه حاضر ژنوتیپ‌هایی که قادر به حفظ بقای خود بودند خسارت کمتری نیز به برگ‌های آن‌ها وارد شد.

جدول ۴- تأثیر تنش شوری ۱۲dSm^{-1} کلرید سدیم بر صفت‌های موردمطالعه در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه بقای ۴۰ تا ۲۱ درصد

Table 4. Effect of sodium chloride salt stress (12dSm^{-1}) on lentil genotypes traits in survival range of 40 to 21%

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Genotype
0.96	20.5	19.6	83	766	4503	23	77	8.00	37	2	40	MLC37
0.13	25.9	3.31	78	915	4205	67	33	4.33	64	2	40	MLC84
1.21	19.9	24.1	74	943	3563	53	47	4.50	47	2	40	MLC93
0.61	28.9	17.9	80	210	1032	11	89	3.33	26	2	40	MLC200
1.78	21.9	28.6	84	237	1467	17	83	2.67	24	1	40	MLC228
1.08	19.5	19.8	84	209	1362	17	83	2.33	23	1	38	MLC168
3.18	13.9	43.2	85	67	460	11	89	2.67	12	1	38	MLC216
0.49	27.0	13.3	83	777	4446	42	58	3.33	36	1	38	MLC51
0.62	27.0	16.9	70	767	2597	82	18	3.33	55	4	38	MLC98
1.29	25.3	32.3	84	115	703	13	88	3.33	15	1	38	MLC171
1.22	22.6	27.2	83	312	1888	34	66	1.67	28	3	37	MLC226
1.37	25.7	34.8	85	188	1249	27	73	2.33	22	1	36	MLC233
0.83	19.3	16.0	78	472	2183	56	44	6.33	46	4	33	MLC17
1.77	15.1	26.8	84	223	1385	46	54	3.67	29	1	33	MLC58
1.96	15.5	26.2	84	310	1879	30	70	2.33	28	3	33	MLC201
2.94	19.6	57.1	81	109	585	27	73	3.00	16	1	32	MLC122
0.64	31.7	20.0	83	300	1727	21	79	2.67	26	3	30	MLC155
0.91	23.5	21.4	79	471	2194	50	50	4.33	42	2	30	MLC45
1.43	17.5	25.0	76	227	938	71	29	4.33	38	4	29	MLC31
1.16	16.9	19.6	76	586	2484	82	18	2.50	38	2	29	MLC61
1.18	20.5	22.9	83	264	1581	7	93	3.67	20	2	29	MLC207
1.20	16.3	19.6	82	436	2490	46	54	4.67	44	2	27	MLC63
1.63	18.1	29.5	80	713	3592	50	50	2.67	45	2	27	MLC92
0.76	19.9	15.1	78	647	2981	47	53	3.33	41	4	27	MLC22
0.76	24.7	18.7	81	333	1741	63	38	3.00	49	2	25	MLC10
3.40	9.76	33.1	80	323	1603	84	16	8.67	21	4	25	MLC40
0.56	27.0	15.1	76	239	1006	91	9	5.00	36	2	25	MLC69
0.93	21.1	19.6	66	547	1630	78	22	8.00	42	5	25	MLC90
0.68	24.7	16.9	70	939	3160	92	8	4.00	58	4	25	MLC91
1.14	34.3	39.8	79	217	1020	40	60	1.67	25	1	24	MLC142
0.75	24.2	18.8	81	161	812	5	95	3.00	26	3	24	MLC208
0.96	17.5	16.9	82	878	4749	39	61	4.00	54	4	23	MLC23
0.98	27.3	26.8	77	138	644	9	91	2.33	18	2	23	MLC163
0.83	23.5	19.6	81	481	2489	58	43	6.00	42	2	22	MLC66
3.73	11.5	43.1	71	439	1530	82	18	2.50	35	2	22	MLC86
2.72	18.1	42.0	84	236	1543	50	50	2.00	25	1	22	MLC224
1.45	24.1	34.9	76	344	1440	80	20	3.33	55	3	21	MLC2
1.94	15.9	30.4	84	230	1455	100	0	3.00	21	1	21	MLC186
0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	P value
1.63	7.49	31.1	7.18	98.5	561	22.8	22.8	1.40	18.9	0.0001	3.33	$LSD_{0.05}$
56.1	24.2	67.8	6.10	15.6	19.1	26.6	32.7	27.4	36.9	0.0001	5.44	CV%

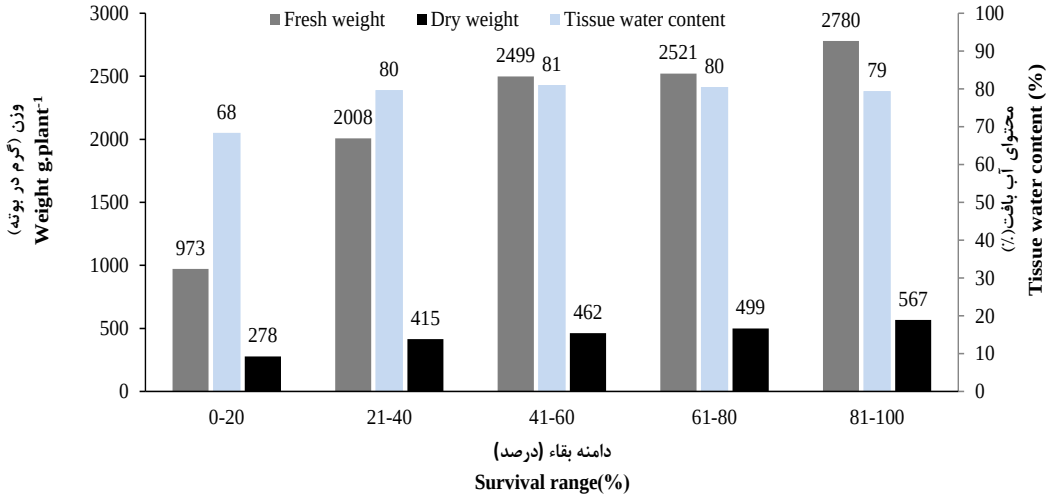
A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم .MLC : بانک بذر عدس مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات

A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight (mg.plant^{-1}), H: Shoot dry weight (mg.plant^{-1}), I: Tissue water content (%), J: Na (mg.gdw^{-1}), K: K (mg.gdw^{-1}), L: Na/K. MLC: Mashhad Lentil Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 probability level, CV: Coefficient of Variation

زیست‌توده: وزن تر و خشک اندام هوایی با کاهش درصد بقاء کاهش پیدا کرد و بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲ ،۳، ۴، ۵ و ۶). با کاهش درصد بقاء از ۱۰۰–۸۱ به ۸۰–۶۱، ۶۰–۴۱ و ۲۰–۰ درصد، وزن تر بوته به‌ترتیب ۱۰/۳، ۱۱/۳، ۳۸/۴ درصد و ۲/۹ برابر و وزن خشک بوته به‌ترتیب ۱۳/۵، ۲۲/۷، ۳۶/۶ درصد و ۲/۰۳ برابر کاهش یافت (شکل ۴).

محتوای آب بافت: محتوای آب بافت تنها در دامنه بقای ۲۰–۰ درصد به‌طور چشمگیری کاهش یافت و در سایر دامنه‌های بقاء تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نداشت (شکل ۴).

همبستگی بین صفات نشان‌دهنده رابطه مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک و تر اندام هوایی با درصد بقاء (r^2=۰/۴۸** و r^2=۰/۳۵**)، مرحله رشدی (r^2=۰/۳۳** و r^2=۰/۳۷**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۵۳** و r^2=۰/۵۸**) و تعداد شاخه فرعی در بوته (r^2=۰/۵۸** و r^2=۰/۵۴**)، بود. محتوای آب بافت نیز با درصد بقاء (r^2=۰/۵۲**)، تعداد شاخه فرعی در بوته (r^2=۰/۳۵**)، درصد برگ باقی‌مانده (r^2=۰/۶۴**) رابطه مثبت و با درصد برگ ریزش کرده (r^2=-۰/۶۴**) رابطه منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۷).



شکل ۴– وزن تر و خشک اندام هوایی و محتوای آب بافت در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم

Figure 4. Fresh and dry shoot wieght and tissue water content of lentil genotypes in survival ranges after four weeks of 12dS m^{-1} NaCl salinity

سطوح بالای شوری می‌تواند باعث تنش آبی در گیاه شود که کاهش تولید زیست‌توده را به‌دنبال خواهد داشت. علاوه بر این، تنش شوری با تأثیر بر محتوای آب بافت‌های گیاهی منجر به کم‌آبی و کاهش رشد گیاه می‌شود (Munns & Tester 2008). درک مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان می‌تواند به شناسایی ارقامی که رشد و عملکرد خوبی در شرایط شور دارند، کمک کند. مطالعه اثر شوری بر تولید زیست‌توده در گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که بیشترین غلظت نمک باعث کاهش ۵۰ درصدی زیست‌توده در مقایسه با شاهد شد (Li *et al*. 2013) بااین‌حال، برخی گیاهان نسبت به تنش شوری مقاوم‌تر هستند و زیست‌توده خوبی در شرایط شور تولید می‌کنند. برخی از ارقام جو (*Hordeum vulgare*) قادر به حفظ تولید زیست‌توده در غلظت‌های بالای نمک به‌دلیل توانایی در حذف یون‌های نمک از برگ‌ها و حفظ جذب آب هستند (Munns & Tester 2008). در ارتباط با اثر شوری بر میزان آب گیاه مطالعات متعددی صورت گرفته است. غلظت بالای شوری می‌تواند باعث ایجاد تنش آبی و کاهش جذب آب و کم‌آبی بافت‌های گیاه شود. تنش شوری محتوای آب برگ‌ها در گندم را کاهش داد و شدیدترین تیمار شوری موجب کاهش ۶۰ درصدی محتوای آب در مقایسه با شاهد شد (Sairam *et al*., 2004). بااین‌وجود، برخی از گیاهان مکانیسم‌های سازگاری را برای مقابله با تنش شوری دارند که با تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول باعث حفظ فشار تورژسانس و جلوگیری از اتلاف می‌شوند (Ashraf & Harris, 2004). بالا بودن محتوای آب بافت در ژنوتیپ‌های عدس با بقای بالا در این مطالعه، نشان‌دهنده رابطه مستقیم این ویژگی با بقای گیاه در شرایط تنش می‌باشد.

جدول ۵- تأثیر تنش شوری ۱۲dSm^{-1} کلرید سدیم بر صفت‌های موردمطالعه در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه بقای ۲۰ تا ۴ درصد

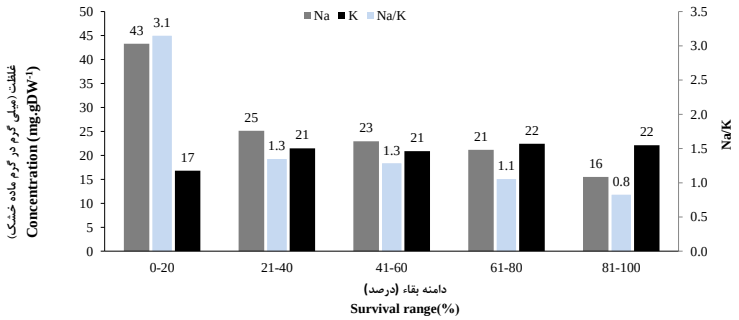
Table 5. Effect of sodium chloride salt stress (12dSm^{-1}) on lentil genotypes traits in survival range of 20 to 4%

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Genotype
1.49	20.5	30.4	79	287	1344	40	60	4.33	38	4	20	MLC28
1.00	24.1	24.1	69	354	1131	90	10	5.00	42	2	20	MLC99
2.39	16.8	40.1	80	159	898	49	51	2.33	20	1	20	MLC129
2.39	23.4	48.8	70	85	370	52	48	1.00	15	1	20	MLC176
3.28	15.6	39.9	84	145	819	32	68	2.33	20	3	20	MLC203
1.58	21.1	33.3	83	102	589	37	63	1.67	19	1	20	MLC221
3.92	23.1	95.4	80	114	593	24	76	1.67	18	1	19	MLC132
2.48	16.6	38.2	85	115	744	34	66	2.67	14	1	19	MLC135
4.28	19.2	42.7	77	105	517	32	68	1.67	19	1	19	MLC130
0.91	23.5	21.4	75	566	2265	53	47	5.00	46	4	17	MLC21
2.14	16.3	34.9	71	339	1177	91	9	6.00	34	1	17	MLC60
1.53	19.3	29.5	64	814	2287	92	8	7.00	36	1	17	MLC100
5.02	11.2	49.7	81	130	656	8	92	3.67	28	1	17	MLC180
1.35	19.9	26.8	68	712	2194	63	37	2.00	38	2	15	MLC43
4.01	9.16	36.8	64	275	770	86	14	3.00	23	2	14	MLC101
3.23	11.3	33.5	81	270	1420	42	58	2.67	22	1	14	MLC137
2.10	18.9	33.1	79	266	1324	28	72	4.00	22	3	13	MLC128
2.07	18.1	36.5	80	187	996	49	51	1.67	122	1	13	MLC151
0.45	25.3	11.4	72	837	2937	86	14	7.00	50	2	13	MLC83
2.22	17.2	32.2	83	286	1617	25	75	4.33	25	3	13	MLC150
4.69	10.8	46.1	80	137	674	69	31	1.67	22	1	13	MLC191
3.08	12.5	38.5	80	290	1558	48	52	2.00	23	1	12	MLC199
4.40	14.3	49.7	81	78	438	31	69	2.00	15	1	12	MLC205
4.00	12.2	46.8	78	127	608	66	34	2.00	19	1	12	MLC210
1.01	30.0	30.4	66	421	1248	70	30	4.00	32	1	11	MLC54
2.42	19.8	43.7	85	196	1345	17	83	3.00	22	1	11	MLC236
4.32	9.8	42.2	79	205	967	85	15	4.00	31	2	10	MLC48
0.90	27.6	25.0	73	728	2667	94	6	4.00	35	2	10	MLC70
2.97	14.4	38.7	76	293	1290	58	42	4.67	28	1	9	MLC190
2.12	13.9	29.5	72	773	2796	84	16	4.00	47	2	7	MLC41
1.53	19.9	30.4	76	331	1368	75	25	2.33	36	4	6	MLC18
4.01	13.5	34.6	73	257	1173	67	33	1.67	27	2	6	MLC181
1.44	19.9	28.6	66	924	2722	79	21	3.00	45	4	5	MLC42
5.04	11.6	54.4	61	159	571	78	22	2.00	15	3	5	MLC123
3.16	32.3	69.8	62	171	550	100	0	1.00	20	1	5	MLC189
1.52	21.5	32.9	61	354	986	88	13	1.33	20	1	4	MLC157
3.43	16.5	48.7	65	84	289	67	33	1.67	15	1	4	MLC172
3.80	15.2	45.1	69	256	855	91	9	1.00	25	1	4	MLC154
5.15	11.5	55.2	63	172	751	82	18	2.67	17	1	4	MLC202
0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	P value
1.63	7.49	31.1	7.18	98.5	561	22.8	22.8	1.40	18.9	0.0001	3.33	$LSD_{0.05}$
56.1	24.2	67.8	6.10	15.6	19.1	26.6	32.7	27.4	36.9	0.0001	5.44	CV%

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم .MLC : بانک بذر عدس مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات

A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight (mg.plant^{-1}), H: Shoot dry weight (mg.plant^{-1}), I: Tissue water content (%), J: Na (mg.gdw^{-1}), K: K (mg.gdw^{-1}), L: Na/K. MLC: Mashhad Lentil Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 probability level, CV: Coefficient of Variation

سدیم و پتاسیم: بین ژنوتیپ‌های عدس ازنظر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲ ،۳، ۴، ۵ و ۶). غلظت سدیم با کاهش درصد بقاء در ژنوتیپ‌های عدس موردمطالعه افزایش یافت به‌طوری‌که با کاهش درصد بقاء از ۸۱-۱۰۰ به ۶۱-۸۰، ۴۱-۶۰ و ۰-۲۰ درصد غلظت سدیم به‌ترتیب ۳۶، ۴۸، ۶۲ درصد و ۲/۸ برابر افزایش یافت. از طرف دیگر غلظت پتاسیم تنها در دامنه بقای ۰-۲۰ درصد کاهش قابل‌ملاحظه‌ای پیدا کرد. با توجه به تغییرات غلظت سدیم و پتاسیم، روند تغییرات نسبت سدیم به پتاسیم بیشتر تحت تأثیر تغییرات سدیم قرار گرفت و با کاهش دامنه بقاء نسبت سدیم به پتاسیم افزایش یافت (جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶). همبستگی بین غلظت سدیم با درصد بقاء (r^2=-۰/۴۱**)، مرحله رشدی (r^2=-۰/۳۱**)، ارتفاع بوته (r^2=-۰/۳۵**)، تعداد شاخه فرعی (r^2=-۰/۳۳**)، درصد برگ باقی‌مانده (r^2=-۰/۲۹**)، وزن تر (r^2=-۰/۴۱**) و خشک (r^2=-۰/۳۹**) اندام هوایی منفی و معنی‌دار بود. از طرفی همبستگی بین غلظت پتاسیم با صفات ذکر شده مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۷).



شکل ۵- غلظت سدیم و پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در ژنوتیپ‌های عدس در دامنه‌های بقاء، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم

Figure 5. Na, K and Na/K shoot in lentil genotypes in survival ranges after four weeks of 12dS m^{-1} NaCl salinity

در تنش شوری با تجمع سدیم در بافت‌های گیاه در جذب پتاسیم اختلال ایجاد می‌شود که موجب کاهش محتوای پتاسیم گیاه و همچنین افزایش نسبت سدیم به پتاسیم می‌گردد (Munns *et al*., 2012). پتاسیم نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در شرایط تنش شوری دارد. این عنصر در تنظیم باز و بسته شدن روزنه و کنترل سرعت تعرق گیاه نقش دارد. در شرایط تنش شوری، ممکن است گیاهان با تنظیم روزنه‌های خود مدیریت آب را انجام دهند که به کاهش فتوسنتز و رشد منتهی می‌شود. بااین‌حال، پتاسیم می‌تواند با تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها به گیاه اجازه دهد تا تعادل بین آب و فتوسنتز را حفظ کند. همچنین پتاسیم با کمک به حفظ یکپارچگی ساختاری سلول‌ها و جلوگیری از اتلاف آب اضافی به حفاظت از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های احتمالی کمک می‌کند. علاوه بر این، پتاسیم می‌تواند با فعال کردن آنزیم‌هایی که در فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش دارند، به گیاه اجازه دهد که رشد طبیعی خود را در شرایط تنش شوری حفظ کند (Zhu *et al*., 2016). در بررسی ژنوتیپ‌های عدس تحت تنش شوری، ژنوتیپ‌هایی که قادر به جذب پتاسیم بیشتر در شرایط تنش شوری بودند از بقاء و رشد مناسب‌تری برخوردار بودند.

جدول ۶- تأثیر تنش شوری $12dSm^{-1}$ کلرید سدیم بر صفت‌های موردمطالعه در ژنوتیپ‌های عدس

Table 6. Effect of sodium chloride salt stress ($12dSm^{-1}$) on lentil genotypes traits.

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Genotype
2.61	15.1	39.5	69	310	1002	100	0	3.00	35	2	0	MLC19
1.98	12.1	24.1	74	407	1558	100	0	5.00	46	4	0	MLC20
4.77	10.4	49.4	49	220	433	100	0	1.00	30	1	0	MLC32
4.88	9.76	47.6	57	199	463	100	0	1.00	27	1	0	MLC33
3.71	14.5	53.9	61	212	539	100	0	1.00	22	1	0	MLC34
3.82	7.97	30.4	76	373	1547	100	0	1.00	30	1	0	MLC35
3.62	9.16	33.1	76	279	1177	100	0	1.00	29	4	0	MLC38
3.16	13.9	44.0	71	318	1087	100	0	1.00	27	2	0	MLC39
5.25	9.76	51.2	63	392	1058	100	0	1.00	36	3	0	MLC52
5.49	9.16	50.3	61	317	817	100	0	1.00	28	2	0	MLC53
0.88	25.3	22.3	63	624	1681	100	0	1.00	38	2	0	MLC71
1.44	20.5	29.5	69	264	848	100	0	1.00	37	2	0	MLC72
4.10	4.99	20.5	53	78	167	100	0	1.00	14	1	0	MLC80
1.98	16.3	32.2	74	329	1241	100	0	1.00	36	1	0	MLC88
5.45	8.57	46.7	71	359	1244	100	0	1.00	33	1	0	MLC89
2.73	15.1	41.3	50	239	475	100	0	1.00	27	1	0	MLC97
1.41	24.1	34.0	53	288	608	100	0	1.00	46	1	0	MLC102
0.87	27.6	24.1	54	899	1954	100	0	1.00	45	1	0	MLC106
0.98	19.9	19.6	40	489	814	100	0	1.00	41	5	0	MLC107
2.96	21.5	55.2	63	133	376	100	0	1.00	18	1	0	MLC110
5.31	12.4	63.2	49	103	206	100	0	1.00	14	3	0	MLC121
9.28	8.35	48.3	43	53	87	100	0	1.00	11	1	0	MLC126
4.45	38.9	191.9	66	157	456	100	0	1.00	15	1	0	MLC134
1.18	26.5	31.3	81	215	1192	100	0	1.00	25	1	0	MLC141
4.94	11.0	52.4	60	174	479	100	0	1.00	16	1	0	MLC158
4.68	11.3	49.1	73	156	579	100	0	1.00	20	1	0	MLC159
3.37	15.0	47.4	67	203	696	100	0	1.00	20	1	0	MLC160
1.76	24.5	43.5	62	150	411	100	0	1.00	15	1	0	MLC161
2.81	20.3	47.6	62	147	378	100	0	1.00	17	1	0	MLC162
3.13	16.3	47.7	60	205	654	100	0	1.00	20	1	0	MLC165
4.62	14.3	59.4	61	110	305	100	0	1.00	16	1	0	MLC166
4.80	11.3	55.2	55	133	303	100	0	1.00	16	1	0	MLC173
3.80	17.1	62.3	57	67	161	100	0	1.00	14	1	0	MLC174
5.02	11.5	54.5	68	206	654	100	0	1.00	19	1	0	MLC182
2.23	21.7	47.2	58	121	298	100	0	1.00	20	1	0	MLC184
3.51	14.0	48.8	55	164	458	100	0	1.00	17	1	0	MLC185
4.48	12.9	50.4	74	185	697	100	0	1.00	16	1	0	MLC223
3.12	16.5	49.0	78	156	761	100	0	1.00	18	1	0	MLC230
3.95	12.9	49.9	68	147	496	100	0	2.33	22	1	0	MLC232
0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	P value
1.63	7.49	31.1	7.18	98.5	561	22.8	22.8	1.40	18.9	0.0001	3.33	$LSD_{0.05}$
56.1	24.2	67.8	6.10	15.6	19.1	26.6	32.7	27.4	36.9	0.0001	5.44	CV%

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم .MLC : بانک بذر عدس مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، CV: ضریب تغییرات

A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight ($mg.plant^{-1}$), H: Shoot dry weight ($mg.plant^{-1}$), I: Tissue water content (%), J: Na ($mg.gdw^{-1}$), K: K ($mg.gdw^{-1}$), L: Na/K. MLC: Mashhad Lentil Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. LSD: Least Significant Difference in $p\leq0.05$ probability level, CV: Coefficient of Variation

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های عدس تحت تأثیر شوری

Table 7. Coefficient of correlations of some measured traits of lentil genotypes affected by salinity stress

L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	Traits
											1	A
										1	0.28**	B
									1	0.36**	0.29**	C
								1	0.34**	0.39**	0.41**	D
							1	0.21**	-0.01ns	0.14**	0.52**	E
						1	-1.00	-0.21**	0.01ns	-0.14**	-0.53**	F
					1	-0.21**	0.21**	0.58**	0.53**	0.33**	0.48**	G
				1	0.93**	-0.03ns	0.03ns	0.54**	0.58**	0.37**	0.35**	H
			1	0.11**	0.35**	-0.64**	0.64**	0.35**	0.10**	0.10**	0.52**	I
		1	-0.29**	-0.39**	-0.41**	0.29**	-0.29**	-0.33**	-0.35**	-0.31**	-0.41**	J
	1	0.02ns	0.20**	0.26**	0.27**	-0.29**	0.29**	0.14**	0.18**	0.10**	0.30**	K
1	-0.63**	0.60**	-0.43**	-0.45**	-0.48**	0.42**	-0.42**	-0.38**	-0.39**	-0.33**	-0.52**	L

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم. ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight (mg.plant^{-1}), H: Shoot dry weight (mg.plant^{-1}), I: Tissue water content (%), J: Na (mg.gdw^{-1}), K: K (mg.gdw^{-1}), L: Na/K. ns and ** respectively non-significant at 0.05 probability level, significant at 0.01 probability level

تجزیه به عامل‌ها: تجزیه به عامل‌ها قبل از تجزیه خوشه‌ای، به‌منظور دسته‌بندی صفات، تعیین میزان اهمیت و ارتباط هریک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل داده‌ها و همچنین تعیین اهمیت متغیرهایی که در گروه‌ها نقش دارند انجام گردید. از طریق این تجزیه‌وتحلیل می‌توان به تأثیر شرایط محیطی بر اهمیت و گروه‌بندی صفات پی‌برد. بر اساس تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش شوری، به‌طورکلی سه عامل انتخاب شدند که جمعاً ۷۴/۴ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۸). عامل اول حدود ۴۵/۹۸ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل درصد بقاء، مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی و محتوای آب بافت با بار منفی و غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم با بار مثبت بود. عامل دوم حدود ۲۰/۱ درصد تغییرات را توجیه کرد که شامل درصد برگ باقی‌مانده با بار مثبت و درصد برگ ریزش کرده با بار منفی بود (جدول ۸). عامل سوم نیز ۸/۴ درصد از تغییرات را توجیه کرد که شامل غلظت پتاسیم با بار مثبت بود (جدول ۸).

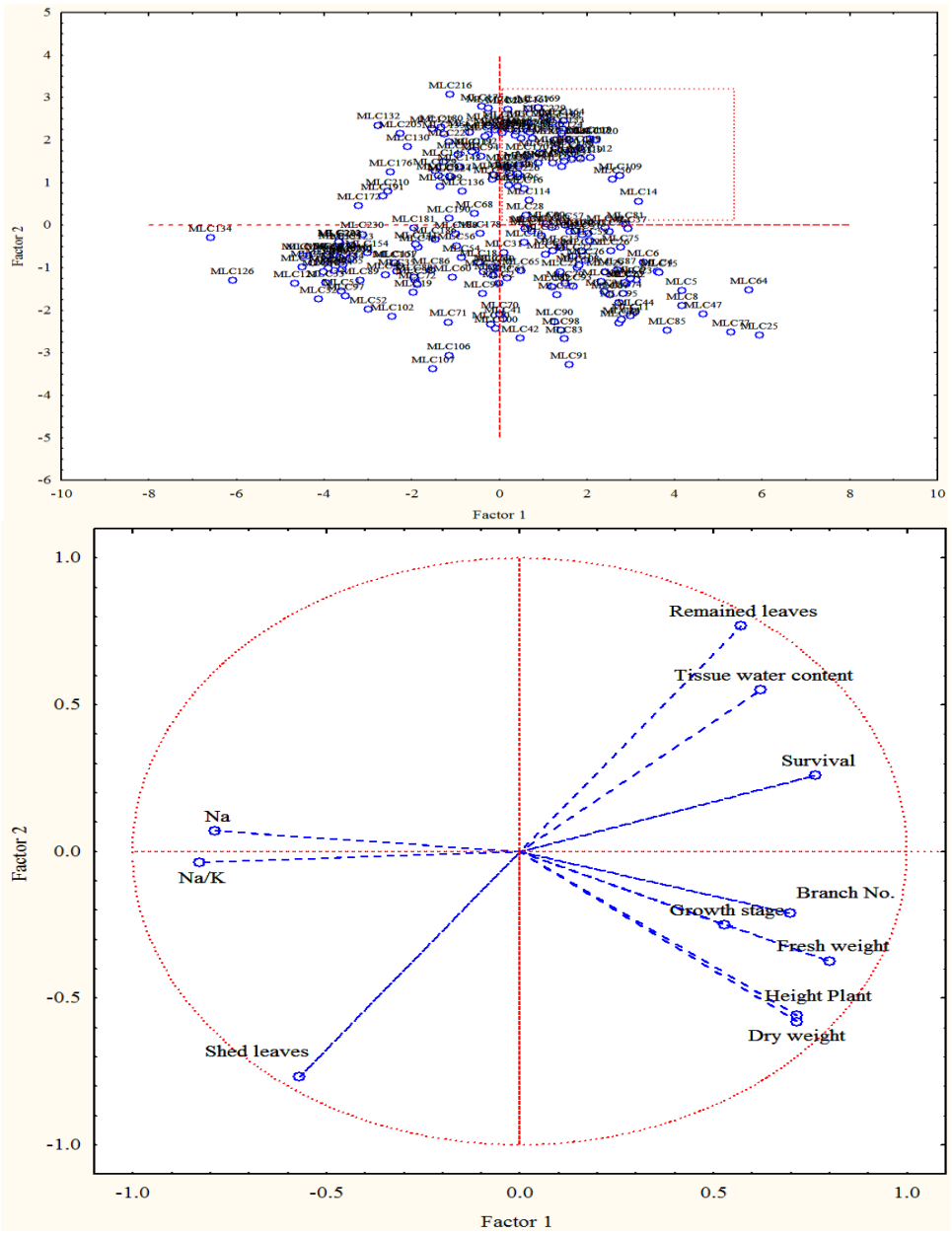
جدول ۸- تجزیه به عامل‌ها برای ژنوتیپ‌های عدس تحت تنش شوری

Table 8. Factor analysis for lentil genotypes under salinity stress

Factor 3	Factor 2	Factor 1	صفات (Traits)
0.068	0.231	-0.765	درصد بقاء ((Survival (%))
0.317	-0.271	-0.502	مرحله رشدی (Growth stage)
-0.043	-0.549	-0.631	ارتفاع بوته (Plant height)
0.341	-0.245	-0.674	شاخه فرعی (Branch No. per plant)
0.091	0.742	-0.598	برگ باقی‌مانده ((Remained leaves (%))
-0.091	-0.742	0.598	برگ ریزش کرده ((Shed leaves (%))
0.060	-0.406	-0.780	وزن تر (Fresh weight)
-0.020	-0.605	-0.690	وزن خشک (Dry weight)
0.203	0.513	-0.631	محتوای آب برگ (Tissue water content)
-0.055	0.104	0.773	سدیم (Na)
-0.769	0.110	-0.538	پتاسیم (K)
0.363	-0.019	0.858	سدیم به پتاسیم (Na/K)
1.01	2.41	5.51	مقادیر ویژه (Eigen value)
74.4	66.0	45.9	درصد سهم تجمعی (Cumulative%)

با توجه به اینکه دو عامل اصلی اول و دوم به‌ویژه عامل اول بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند از صفات درصد بقاء، مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، درصد برگ باقی‌مانده، درصد برگ ریزش کرده، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای آب بافت، غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم برای به‌دست آوردن پراکنش و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دستگاه مختصات استفاده شد (شکل ۷). همان‌طور که ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های MLC14، MLC16، MLC28، MLC50، MLC105، MLC109، MLC112، MLC113، MLC114، MLC115، MLC116، MLC117، MLC118، MLC119، MLC120، MLC124، MLC139، MLC144، MLC147، MLC149، MLC153، MLC155، MLC164، MLC167، MLC170، MLC195، MLC197، MLC200، MLC207، MLC208، MLC209، MLC211، MLC227، MLC229، MLC235 و MLC234 از نظر عامل‌های اول و دوم به‌عنوان ژنوتیپ‌های با تحمل بالا به تنش شوری

معرفی شدند. همچنین این ژنوتیپ‌ها درصد بقاء، درصد برگ باقی‌مانده و محتوای آب بافت بالاتری نیز داشتند (شکل ۷).



شکل ۷- پراکنش ژنوتیپ‌های عدس بر اساس دو عامل اصلی اول و دوم

Figure 7. Distribution of lentil genotypes on the basis of the first and the second components

تجزیه خوشه‌ای: به‌منظور تعیین قرابت ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها برمبنای صفات موردبررسی، تجزیه خوشه‌ای به‌روش ward انجام شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های موردمطالعه عدس نشان‌دهنده قرارگیری آن‌ها در هشت گروه مجزا بود (شکل ۸). گروه‌های هشت‌گانه به‌ترتیب شامل ۳۹، ۳۱، ۳۲، ۳۵، ۳۹، ۴، ۱۹ و ۱۶ ژنوتیپ بودند (شکل ۸).

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای یک روش آماری است که می‌تواند برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مشابه به خوشه‌ها براساس ویژگی‌های آن‌ها استفاده شود. در زمینه اصلاح نباتات، از تجزیه خوشه‌ای برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط تنش شوری استفاده شده است و از صفات مرتبط به رشد گیاه، تولید زیست‌توده، محتوای آب، محتوای سدیم و پتاسیم و سایر متغیرها برای خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها می‌توان استفاده کرد. چندین مطالعه از تجزیه خوشه‌ای برای انتخاب بهترین ژنوتیپ عدس برای کشت در شرایط تنش شوری استفاده کرده‌اند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های عدس نشان داد که بیشترین تحمل به شوری را ژنوتیپ‌هایی داشتند که از بیشترین تولید زیست‌توده و محتوای آب و همچنین کمترین میزان سدیم برخوردار بودند (Kumawat *et al*., 2017).

به‌منظور بررسی صحت گروه‌بندی‌های به‌دست‌آمده از روش تجزیه خوشه‌ای، از تابع تشخیص استفاده گردید (جدول ۹). نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که ۹۲/۶ درصد از ژنوتیپ‌ها به‌طور صحیح گروه‌بندی شده‌اند و میزان موفقیت تابع تشخیص، در گروه‌های شش، هفت و هشت ۱۰۰ درصد بود که این مقدار را میزان موفقیت کل تابع تشخیص گویند. میزان موفقیت نشان می‌دهد که تابع تشخیص بین گروه‌ها موفق بوده است.

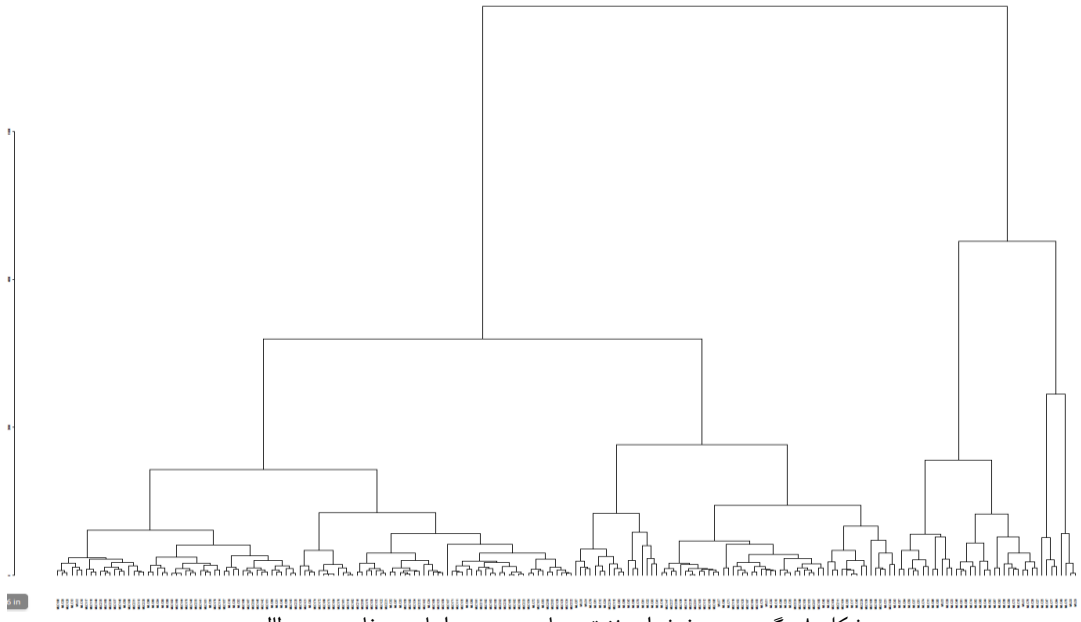
جدول ۹- نتایج تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس تحت تنش شوری

Table 9. The results of discriminant function for clustering validity of lentil genotypes under salinity stress

Total کل	Group Membership اعضای گروه								Group گروه	
	8	7	6	5	4	3	2	1		
39	0	0	0	0	0	0	5	34	1	
31	0	0	0	0	0	0	28	3	2	
32	0	0	0	0	3	29	0	0	3	
35	0	0	0	3	32	0	0	0	4	Total
39	0	0	0	37	2	0	0	0	5	کل
4	0	0	4	0	0	0	0	0	6	
19	0	19	0	0	0	0	0	0	7	
16	16	0	0	0	0	0	0	0	8	
100	0	0	0	0	0	0	13	87	1	
100	0	0	0	0	0	0	90	10	2	
100	0	0	0	0	9	91	0	0	3	
100	0	0	0	9	91	0	0	0	4	Percent
100	0	0	0	95	5	0	0	0	5	درصد
100	0	0	100	0	0	0	0	0	6	
100	0	100	0	0	0	0	0	0	7	
100	100	0	0	0	0	0	0	0	8	

۹۲/۶ درصد موارد گروه‌بندی شده به‌درستی گروه‌بندی شده‌اند

92.6% of original grouped cases correctly classified



شکل ۸- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های عدس بر اساس صفات موردمطالعه

Figure 8. Cluster grouping of lentil genotypes based on studied characteristics

MLC: Mashhad Lentil Collection : کلکسیون بذر عدس پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد MLC

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین گروه‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های متعلق به گروه ششم شامل MLC25، MLC47، MLC64 و MLC77 در تمامی صفات موردمطالعه ازجمله درصد بقاء و مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، درصد برگ باقی‌مانده، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای آب بافت و غلظت پتاسیم بیشترین مقدار و از نظر درصد برگ ریزش کرده، غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسم کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۱۰ و ۱۱). با توجه به برتری این ژنوتیپ‌ها در صفات موردمطالعه می‌توان از ژنوتیپ‌های متعلق به این گروه به‌منظور استفاده از صفات برتر آن‌ها در مطالعات تکمیلی تنش شوری استفاده نمود.

در شرایط تنش شوری به‌طورمعمول جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد و در ادامه اثرات سمیت یونی و همچنین اثرات ثانویه شوری موجب اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی، متابولیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌گردد که کاهش رشد و در مراحل بعد مرگ گیاه را درپی خواهد داشت. ژنوتیپ‌هایی که قادر به حفظ روابط آبی در درون بافت خود باشند و از جذب سدیم ممانعت کرده و یا سدیم جذب شده را در واکوئل‌ها جایگذاری کنند می‌توانند در شرایط شور بقای خود را حفظ کرده و مناسب برای کشت در شرایط شور باشند (Munns & Tester, 2008; Houle *et al*., 2001).

جدول ۱۰- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) گروه‌ها بر اساس صفات موردمطالعه عدس تحت تنش شوری
Table 10. Analysis of variance (mean squares) based on measured traits in lentil genotypes under salinity stress

Within Groups	Between Groups	صفات (Traits)
207	7	درجه آزادی (df)
704**	10061**	درصد بقاء ((Survival (%)
1.05**	8.64**	مرحله رشدی (Growth stage)
117**	3138**	ارتفاع بوته (Plant height)
2.08**	49.4**	شاخه فرعی (Branch No. per plant)
974**	4245**	درصد برگ باقی‌مانده ((Remained leaves (%)
974**	4237**	درصد برگ ریزش کرده ((Shed leaves (%)
47419**	63404471**	وزن تر (Fresh weight)
10054**	2331445**	وزن خشک (Dry weight)
56.1**	768**	محتوای آب برگ (Tissue water content)
194**	4680**	سدیم (Na)
34.0**	143**	پتاسیم (K)
1.22**	30.8**	سدیم به پتاسیم (Na/K)

** معنی‌دار سطح احتمال یک درصد
**: significant at probability level of 1%

جدول ۱۱- مقایسه میانگین و انحراف از میانگین گروه‌ها در صفات موردبررسی در ژنوتیپ‌های عدس تحت تنش شوری
Table 11. Cluster analysis for lentil genotypes in salin condition

Total کل	Group Number شماره گروه								Traits صفات
	8	7	6	5	4	3	2	1	
	Number of genotypes تعداد ژنوتیپ								
215	16	19	4	39	35	32	31	39	
39.5±31.8	55.4^{bc}±19.6	65.5^{b}±22.4	84.3^{a}±20.5	35.5^{c}±32.2	48.2^{bc}±28.9	48.2^{bc}±32.2	35.6^{c}±27.5	7.74^{d}±13.5	A
2.07±1.14	2.50^{a}±1.26	2.63^{a}±0.955	2.50^{a}±1.00	1.97^{a}±1.11	2.37^{a}±1.06	2.66^{a}±1.21	1.84^{ab}±1.07	1.13^{b}±0.469	B
33.0±14.7	48.4^{b}±13.4	46.4^{b}±9.66	57.5^{a}±7.33	29.4^{c}±8.00	30.5^{c}±7.27	43.1^{b}±10.9	28.0^{c}±18.6	19.1^{d}±6.14	C
3.29±1.90	4.88^{ab}±1.32	5.26^{b}±1.88	6.58^{a}±1.37	2.68^{d}±1.25	3.60^{cd}±1.98	4.14^{bc}±1.62	2.75^{d}±1.21	1.41^{e}±0.660	D
44.8±32.9	55.3^{a}±17.7	42.9^{ab}±18.1	65.0^{a}±14.9	48.3^{a}±37.3	58.0^{a}±31.9	43.7^{ab}±28.8	48.0^{a}±33.6	22.5^{b}±33.7	E
55.2±32.9	44.8^{b}±17.8	57.1^{ab}±18.1	35.0^{b}±14.9	51.7^{b}±37.3	42.1^{b}±31.9	56.3^{ab}±28.8	52.0^{b}±33.6	77.5^{a}±33.7	F
1895±1456	4753^{b}±461	3564^{c}±277	7469^{a}±238	1288^{f}±136	1726^{e}±133	2431^{d}±282	870^{g}±110	474^{h}±159	G
406±293	927^{b}±150	731^{c}±132	1435^{a}±81.7	276^{e}±60.9	342^{e}±77.9	575^{d}±161	199^{f}±71.7	143^{f}±52.6	H
75.9±8.91	80.4^{a}±3.42	79.5^{a}±3.95	80.8^{a}±1.50	77.8^{a}±6.46	79.9^{a}±5.05	76.2^{a}±6.67	76.3^{a}±9.15	65.8^{b}±11.2	I
29.5±18.5	15.3^{e}±6.70	18.0d^{e}±7.23	4.25^{f}±2.06	29.2^{bc}±10.0	25.9^{b-d}±10.2	20.7^{c-e}±7.35	31.4^{b}±11.6	52.9^{a}±25.8	J
19.9±6.13	23.44^{b}±4.00	21.0^{bc}±5.78	28.8^{a}±3.20	19.3^{bc}±5.22	20.1^{bc}±6.37	20.9^{bc}±4.10	20.2^{bc}±7.00	16.6^{c}±6.82	K
1.87±1.48	0.691^{ef}±0.360	0.990^{de}±0.591	0.145^{f}±0.067	1.85^{bc}±1.21	1.60^{bc}±1.05	1.06^{c-e}±0.496	2.03^{b}±1.43	3.78^{a}±1.47	L

A: بقاء (٪)، B: مرحله رشدی، C: ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، D: تعداد شاخه فرعی، E: برگ باقی‌مانده (٪)، F: برگ ریزش کرده (٪)، G: وزن تر اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، H: وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم در بوته)، I: محتوای آب برگ (٪)، J: سدیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، K: پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، L: نسبت سدیم به پتاسیم
A: Survival (%), B: Growth Stage, C: Plant height (cm), D: Branch No, E: Remained leaves (%), F: Shed leaves (%), G: Shoot fresh weight (mg.plant^{-1}), H: Shoot dry weight (mg.plant^{-1}), I: Tissue water content (%), J: Na (mg.gdw^{-1}), K: K (mg.gdw^{-1}), L: Na/K

نتیجه‌گیری کلی

نتیجه مطالعه اثر تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم بر تحمل به شوری ۲۱۵ ژنوتیپ عدس در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط آب کشت نشان داد که ۲۵ ژنوتیپ دارای بقای بالای ۸۰ درصد و ۱۵ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد بودند. بررسی مرحله نموی ژنوتیپ‌ها در دامنه بقای ۸۱-۱۰۰ درصد نشان داد که ۴۰ درصد از ژنوتیپ‌های این گروه در مرحله رشدی پس از گلدهی قرار داشتند و در این دامنه بقاء شش ژنوتیپ در مرحله آغاز غلاف‌دهی و غلاف‌دهی بودند. ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، بقای برگ‌ها، زیست‌توده تولیدی و غلظت پتاسیم با کاهش درصد بقاء در اثر تنش شوری کاهش و مقدار سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم افزایش پیدا کرد. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها نشان داد ژنوتیپ‌های متعلق به گروه ششم شامل MLC25، MLC47، MLC64 و MLC77 در تمامی صفات موردمطالعه از جمله درصد بقاء و مرحله رشدی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، درصد برگ باقی‌مانده، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای آب بافت و غلظت پتاسیم بیشترین مقدار و از نظر درصد برگ ریزش کرده، غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم کمترین مقدار را دارا بودند. با توجه نتایج به‌دست‌آمده ژنوتیپ‌های گروه ششم از برتری نسبی بالاتری برای تحمل به شوری برخوردار بودند که می‌توان از آن‌ها در مطالعات تکمیلی برای تولید ارقام متحمل به شوری استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بابت حمایت از اجرای این طرح قدردانی می‌شود.

References

Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, *7*(1), 18.

Amooaghaie, R. (2014). The effect of salinity on seedling growth, chlorophyll content, relative water content and membrane stability in two canola cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27*(2), 256-268.

Arshi, A., Abdin, M. Z., & Iqbal, M. (2002). Growth and metabolism of senna as affected by salt stress. *Biologia Plantarum*, *45*, 295-298.

Ashraf, M., Rahmatullah, R., Kanwal, S., Tahir, M. A., Sarwar, A., & Ali, L. (2007). Differential salt tolerance of sugarcane genotypes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 44(1), 85-89.

Ashraf, M., & Waheed, A. (1993). Responses of some genetically diverse lines of chick pea (*Cicer arietinum* L.) to salt. *Plant and Soil*, *154*, 257-266.

Ashraf, M. P. J. C., & Harris, P. J. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, *166*(1), 3-16.

FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#compare (Accessed: 23 December 2020).

Farhoudi, R., & Motamedi, M. (2017). Assessing Physiological Characteristics and Dry Matter of Two Mung Bean Genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(3), 73-86.

Garg, N., & Singla, R. (2009). Variability in the response of chickpea cultivars to short-term salinity, in terms of water retention capacity, membrane permeability, and osmo-protection. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *33*(1), 57-63.

Haileselasie, T. H., & Teferii, G. (2012). The effect of salinity stress on germination of chickpea (*Cicer arietinum* L.) land race of Tigray. *Current Research Journal of Biological Sciences*, *4*(5), 578-583.

Hoagland, D.R. & Arnon, D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. *California Agricultural Experiment Station*, 347, 1-32.

Houle, G., Morel, L., Reynolds, C. E., & Siégel, J. (2001). The effect of salinity on different developmental stages of an endemic annual plant, Aster laurentianus (Asteraceae). *American Journal of Botany*, *88*(1), 62-67.

Kumar, S., Li, G., Yang, J., Huang, X., Ji, Q., Liu, Z., ... & Hou, H. (2021). Effect of salt stress on growth, physiological parameters, and ionic concentration of water dropwort (*Oenanthe javanica*) cultivars. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 660409.

Kumawat, K. R., Gothwal, D. K., & Singh, D. (2017). Salinity tolerance of lentil genotypes based on stress tolerance indices. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *6*(4), 1368-1372.

Li, G., Peng, X., Wei, L., & Kang, G. (2013). Salicylic acid increases the contents of glutathione and ascorbate and temporally regulates the related gene expression in salt-stressed wheat seedlings. *Gene*, *529*(2), 321-325.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, *25*(2), 239-250.

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*(1), 651-681.

Munns, R., James, R. A., Xu, B., Athman, A., Conn, S. J., Jordans, C., ... & Gilliham, M. (2012). Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na+ transporter gene. *Nature Biotechnology*, *30*(4), 360-364.

Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., López-Cortés, A., Jones, H. G., Ayala-Chairez, F., & Tinoco-Ojanguren, C. L. (2001). Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *41*(1), 81-88.

Muscolo, A., Junker, A., Klukas, C., Weigelt-Fischer, K., Riewe, D., & Altmann, T. (2015). Phenotypic and metabolic responses to drought and salinity of four contrasting lentil accessions. *Journal of Experimental Botany*, *66*(18), 5467-5480.

Negrão, S., Schmöckel, S. M., & Tester, M. J. A. O. B. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, *119*(1), 1-11.

Puvanitha, S., & Mahendran, S. (2017). Effect of salinity on plant height, shoot and root dry weight of selected rice cultivars. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, *4*(4), 126-131.

Qadir, M., & Oster, J. D. (2004). Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment*, *323*(1-3), 1-19.

Saadeghi-Azar, L., Madah Hoseini, S., Rahimi, A., & Mohammadi Mirik, A. A. (2013). Effect of Salinity Stress on some Germination and Vegetative Growth Indices of Lentil Genotypes. *Journal of Crops Improvement*, *15*(4), 107-117.

Sairam, R. K., & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 407-421.

Singh, D., Singh, C. K., Kumari, S., Tomar, R. S. S., Karwa, S., Singh, R., ... & Pal, M. (2017). Correction: Discerning morpho-anatomical, physiological and molecular multiformity in cultivated and wild genotypes of lentil with reconciliation to salinity stress. *Plos one*, *12*(12), e0190462.

Tandon, H. L. S. (1995). Methods of analysis of soils, plants, water andfertilizers. *FDCO, New Delhi*.

Tepe, H. D., & Aydemir, T. (2015). Protective effects of Ca2+ against NaCl induced salt stress in two lentil (*Lens culinaris*) cultivars. *African Journal of Agricultural Research*, *10*(23), 2389-2398.

Zhu, M., Shabala, S., Shabala, L., Fan, Y., & Zhou, M. X. (2016). Evaluating predictive values of various physiological indices for salinity stress tolerance in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(2), 115-124.