

# Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropsceince.uoz.ac.ir/>

## Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 519-540

### Effects of salinity stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of leaf and root during vegetative growth of two cultivars of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Nasrin Shirzadi <sup>a</sup>, Maryam Nasr Esafahani <sup>\*a</sup>, Seifollah Bahramikia <sup>a</sup>, Hamed Khodayari <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran

\*Corresponding Author: [esfahani.m@lu.ac.ir](mailto:esfahani.m@lu.ac.ir)

Received: 10 January 2024

Accepted: 19 April 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.434992.1394

#### How to cite this article:

Shirzadi, N., Nasr Esafahani, M., Bahramikia, S. and Khodayari, H., 2025. Effects of salinity stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of leaf and root during vegetative growth two cultivars of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 519-540. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.434992.1394>

#### Abstract

**Introduction:** Salinity is one of the most significant abiotic stresses that affects the metabolism of plant cells and reduces their productivity. High levels of salinity trigger ionic imbalance and osmotic stress in plants, which has severe effects on the morphology, biomass and biochemical processes of plants and ultimately leads to plant damage. Red bean with the scientific name *Phaseolus vulgaris* L. belongs to the family of legumes (Fabaceae) can be grown annually in temperate climates or perennially in tropical climates. It has been proven by various studies that up to 20% of bean production in the Middle East is wasted due to salinity. The most sensitive stage of bean plant to salt stress is during seed germination and the beginning of seedling growth. Regarding the high level of bean cultivation in Iran and the high sensitivity of this plant to salinity, identification of bean varieties resistant and sensitive to salinity helps to solve the cultivation of this plant in saline areas. Therefore, in this study, in order to identify red bean cultivars tolerant to salt stress, the effect of different levels of salt stress (concentrations of 50, 100 and 200 mM NaCl) on physiological and biochemical characteristics in the roots and leaves of two cultivars of red beans (Ofogh and Ks31285) was investigated.

**Material and Methods:** This research was conducted on two bean cultivars (Ofogh and Ks31285) obtained from Khomein Agricultural Research Center. The present study was conducted in the biology laboratory of Lorestan University in the year 1400. The bean seeds (Ks31285 and Ofogh) were surface sterilized (5.5% sodium hypochlorite for 10 minutes) for rapid germination and planted in 1.5 Liter pots containing perlite for two weeks in the cultivation room. The pots (two plants in each pot) were watered for about a week, and after a week until the fourteenth day, semi-Hoogland nutrient solution was added to the plant culture medium every other day. Salinity stress was applied at three levels of 50, 100 and 200 mM. After the end of this time period, morphological, biochemical and physiological indicators such as growth parameters (plant height, fresh and dry weight of aerial and terrestrial organs), the amount of chlorophylls and carotenoids, hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), lipid peroxidation (MDA), some osmolytes (reduced and soluble carbohydrates, proline) and the content and ratio of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> were measured. SPSS version 16 statistical software was employed to analyze data. Duncan's



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

test ( $P \leq 0.05$ ) was used to compare the mean results of different treatments, and graphs were drawn using Excel software.

**Results and discussion:** The results showed that leaf RWC and growth indices decreased in both cultivars, but the amount of decrease in cultivar Ks31285 was higher than that of Ofogh cultivar, which indicates the high salinity tolerance of the cultivar. In addition, the results indicate that total sugar, reducing sugar and proline have increased in both cultivars, but, the amount of proline in Ks31285 was higher than Ofogh. On the other hand, as the salinity level increased, the amount of photosynthetic pigments (chlorophyll a and carotenoids) decreased and the level of malondialdehyde and hydrogen peroxide increased. The amount of this change was higher in Ks31285 than in Ofogh. These results also showed that the Ofogh cultivar had lower sodium and higher potassium in its leaves than to which in Ks31285.

**Conclusion:** Based on the results of this research, the tolerance to salinity in the Ofogh cultivar compared to the Ks31285 cultivar is due to the lower concentration of  $\text{Na}^+$ , the higher concentration of  $\text{K}^+$  in the leaves, the higher accumulation of reducing and total sugars and the decrease in the amount of MDA in the leaves and roots. The sum of these factors resulted in increased growth indices (plant height, fresh and dry weight of aerial and terrestrial organs) and RWC, in the Ofogh cultivar, when compared to Ks31285 at all salinity levels. Despite the higher salinity tolerance of the Ofogh cultivar, the concentration of proline in it was lower than that of the sensitive Ks31285 cultivar.

**Keywords:** Osmolytes, Oxidative stress, Growth indicators, Relative Water Content

## اثرات تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ و ریشه در مرحله رویشی دو رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

نسرین شیرزادی<sup>۱</sup>، مریم نصرافهانی\*<sup>۱</sup>، سیفالله بهرامی کیا<sup>۱</sup>، حامد خدایاری<sup>۱</sup>

۱- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

\* مسئول مکاتبه: [esfahani.m@lu.ac.ir](mailto:esfahani.m@lu.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.434992.1394

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

### چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌هاست که بر متابولیسم سلولی گیاه تأثیر می‌گذارد و بهره‌وری گیاه را کاهش می‌دهد. در این مطالعه، تغییرات محتوای آب نسبی برگ، شاخص‌های رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در ریشه و برگ دو رقم لوبیا قرمز (افق و KS31285) تحت تنش شوری (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محتوای آب نسبی برگ و شاخص‌های رشد در هر دو رقم کاهش پیدا کرد، ولی میزان کاهش در رقم KS31285 نسبت به رقم افق بیشتر بود که این عامل نشان‌دهنده تحمل شوری بالای رقم افق می‌باشد. میزان قند کل، قند احیاء‌کننده و پرولین در هر دو رقم افزایش یافت، البته میزان تجمع پرولین در رقم KS31285 نسبت به رقم افق بیشتر بوده است. این امر می‌تواند به‌دلیل حساسیت بیشتر رقم KS31285 به تنش شوری باشد. با افزایش سطح شوری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و کاروتنوئیدها) کاهش و میزان مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن افزایش یافت که مقدار این تغییرات در رقم KS31285 نسبت به رقم افق بیشتر بوده است. همچنین در رقم افق نسبت به رقم KS31285 در برگ، مقدار سدیم کمتر و مقدار پتاسیم بیشتر می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که رقم افق به واسطه داشتن شاخص‌های رشدی، محتوای آب نسبی برگ و تجمع بیشتر قند کل، احیاء و افزایش پتاسیم برگ و سدیم ریشه تحمل نسبی خوبی نسبت به رقم KS31285 از خود نشان داده است.

**واژه‌های کلیدی:** اسمولیت‌ها، تنش اکسیداتیو، شاخص‌های رشدی، محتوای نسبی آب برگ

### مقدمه

شوری یکی از عمده‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که به‌طور قابل توجهی بر رشد و عملکرد گیاه در مرحله رویشی تأثیر می‌گذارد (Kumar et al., 2021). افزایش مستمر شوری در زمین‌های زراعی به‌دلیل روش‌های زراعت ضعیف و تغییرات آب‌وهوایی اثرات مخرب جهانی دارد و تخمین زده می‌شود که حدود ۵۰ درصد از زمین‌های قابل کشت تا اواسط قرن بیست‌ویکم از بین برود. تاکنون حدود ۱۱۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی به‌طور جدی تحت تأثیر شوری قرار گرفته است، که تهدیدی جدی برای کشاورزی محسوب می‌شود (Islam et al., 2019).

سطح بالای شوری باعث عدم تعادل یونی و تنش اسمزی در گیاهان می‌شود که اثرات شدیدی بر مورفولوژی، زیست‌توده و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان دارد و در نهایت منجر به آسیب‌های گیاهی می‌شود (Rahnesan et al., 2018). بروز آسیب در گیاهان در اثر جذب بیش از حد یون‌های  $Na^+$  و  $Cl^-$

موجب افزایش نسبت  $Na^+$  به  $K^+$  و اختلال در جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند کلسیم و پتاسیم می‌شود. راهکارهای مختلف تحمل به شوری در گیاهان شامل جلوگیری از انتقال یون‌های سمی سدیم و کلر به اندام هوایی توسط ریشه یا تجمع آنها در اندام‌های داخلی سلولی نظیر واکوئل و تنظیم اسمزی می‌باشد. گزارش شده است که ارقام متحمل به شوری نسبت بالایی از  $K^+/Na^+$  در سلول‌های خود دارند که نقش حیاتی در حفظ پتانسیل غشا و تورژسانس، تنظیم فشار اسمزی، فعال کردن آنزیم‌ها، تروپیسیم و حرکت روزنه دارد (Alavi and Abbaspour, 2020).

گیاهان می‌توانند برای کاهش اثرات منفی شوری از سازوکارهای مختلف پاسخ‌دهنده به شوری در سطح مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در بافت‌ها و اندام‌های کل گیاه استفاده کنند (Kumar et al., 2021). این مکانیسم‌ها شامل تجمع املاح سازگار (به‌عنوان مثال اسیدهای آمینه آزاد کل<sup>۱</sup> (TFAA)، قندها، پلی‌آمین‌ها و گلیسین

میانگین عملکرد این محصول برابر با ۷۷۶ کیلوگرم در هر هکتار بوده است (Uebersax *et al.*, 2023). در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، سطح زیر کشت لوبیای خشک در ایران به میزان ۷۶۳۳۵ هکتار و مقدار تولید آن ۱۶۶۶۰۴ تن بوده است، این آمار نشان از ارزش بالای کشت لوبیا در ایران و عملکرد مطلوب این گیاه در این منطقه دارد (Mohammadi Noori *et al.*, 2023). استان‌های فارس، لرستان، زنجان و مرکزی جزء استان‌های برتر تولیدکننده این محصول می‌باشند. سطح زیر کشت لوبیا در استان لرستان ۱۵۸۸۷ هکتار و میانگین عملکرد آن در استان لرستان ۲۱۳۸ کیلوگرم گزارش شده است (Mohammadi Noori *et al.*, 2023). از طرفی تحقیقات نشان داده‌اند که به دلیل شوری، تولید لوبیا در خاورمیانه به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد هدر می‌رود (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002a). بیشترین حساسیت گیاه لوبیا به تنش شوری، در مرحله جوانه‌زنی بذر و ابتدای رشد گیاهچه‌ای است (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002b). در آزمایشی اثر سطوح مختلف شوری (۲۰ تا ۱۸۰ میلی مولار) بر رشد و تجمع برخی عناصر روی لوبیا بررسی و معلوم شد که افزایش شوری موجب کاهش طول ریشه، وزن ریشه و اندام هوایی گردید (Narimani *et al.*, 2020). با توجه به سطح بالای کشت لوبیا در ایران و حساسیت بالای این گیاه به شوری، شناسایی ارقام لوبیای مقاوم و حساس به شوری کمک مهمی به حل کشت این گیاه در مناطق شور می‌نماید. لذا هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش شوری (غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl) بر شاخص‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مانند پارامترهای رشد (ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و زمینی)، میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )، میزان پراکسیداسیون لیپیدها (MDA) و همچنین برخی اسمولیت‌ها (کربوهیدرات احیا و محلول، پرولین) و محتوا و نسبت  $K^+$  و  $Na^+$ ، در دو رقم لوبیا قرمز (افق و KS31285) مورد مطالعه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش روی دو رقم لوبیا افق و KS31285 (خصوصیات زراعی لوبیا رقم افق: تیپ بوته: ایستاده، وزن صد دانه (گرم):

بتائین)، که با تنظیم اسمزی، پتانسیل اسمزی را تنظیم و فشار تورگر سلول را حفظ می‌کنند و همچنین با از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که در نتیجه اختلالات سلولی تولید می‌شوند، تعادل اکسید-احیا سلولی را حفظ می‌کند (Kosar *et al.*, 2021).

تولید بیش از حد ROS از جمله سوپراکسید ( $O_2^{\cdot-}$ )، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )، رادیکال هیدروکسیل ( $OH^{\cdot-}$ ) و اکسیژن یگانه ( $^1O_2$ ) در نتیجه اختلال مسیرهای متابولیکی در سلول‌ها یکی از مهمترین تغییرات بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب در سلول‌های گیاهی است (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). بنابراین، می‌تواند باعث تخریب غشا، پراکسیداسیون لیپید، اکسیداسیون پروتئین‌ها و تغییر DNA شود، در نتیجه منجر به اختلالات متابولیکی و ساختاری غیرقابل برگشت و در نهایت مرگ سلولی می‌شود (Wang *et al.*, 2019).

برای کمک به مقابله با آسیب سلولی ناشی از تجمع ROS و حفظ تعادل اکسایش و احیا، گیاهان از تعدادی املاح سازگار مانند پرولین و گلیسین بتائین و سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی که متشکل از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (به‌عنوان مثال سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گایاکول پراکسیداز (GPOX)، کاتالاز (CAT)، پلی‌فنول اکسیداز (PPO)، مونو دهیدروآسکوربات ردوکتاز (MDAR)، دهیدروآسکوربات ردوکتاز (DHAR) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR)) و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (به‌عنوان مثال کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها، آسکوربیک اسید، گلوکاتایون و ترکیبات فنلی) استفاده می‌کنند (Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

لوبیا قرمز با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. متعلق به خانواده حبوبات (Fabaceae) می‌باشد، که می‌تواند به‌صورت یکساله در آب‌وهوای معتدل و یا چند ساله در آب‌وهوای گرمسیری رشد کند (Dirgantara Namangboling and Kesamai, 2023). لوبیا قرمز به دلیل ارزش غذایی بالا (دارای ۵۷ درصد کربوهیدرات، ۲۲ درصد پروتئین، ۳/۵ درصد مواد معدنی و ۱ درصد چربی)، از مهم‌ترین محصولات کشاورزی غذایی است (Smith *et al.*, 2019). سطح زیر کشت انواع لوبیا خشک در سراسر جهان حدود ۳۴/۸ میلیون هکتار بوده و

به مدت ۲۴ ساعت دیگر در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک (DW) به دست آمد.

### اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها، از روش لیختنتالر و ولبورن استفاده شد (Lichtenthaler and Wellburn, 1983). ابتدا (۰/۱ گرم) از بافت تازه برگ با ۱ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶ g) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) گردید، سپس میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80<sup>+</sup>، کشور انگلستان) در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۶۴ اندازه‌گیری شدند.

### اندازه‌گیری میزان پرولین

جهت استخراج پرولین از روش بیتس و همکاران استفاده شد (Bates et al., 1973). نمونه‌های برگ و ریشه (۰/۰۵ گرم) را در محلول سولفوسالسیلیک اسید ۳٪ (w/v) ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شد. ابتدا معرف نین‌هیدرین (۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین با ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک و ۲۰ میلی‌لیتر اسیدفسفریک ۶ نرمال) تهیه شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از معرف نین‌هیدرین با ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک و ۲ میلی‌لیتر عصاره گیاهی در یک لوله آزمایش ریخته شد و به مدت یک ساعت در بن‌ماری در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش پس از سرد شدن در حمام آب یخ، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید، پس از ورتکس (۳ تا ۵ دقیقه) لوله‌های آزمایش، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ nm اندازه‌گیری شد. محتوای پرولین با استفاده منحنی استاندارد گزارش گردید و نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه محاسبه گردید.

### اندازه‌گیری میزان قند محلول و قند احیاء‌کننده

بافت‌های تازه برگ و ریشه (۰/۰۴ گرم) با ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ در هاون ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شد. از مایع‌روبی برای اندازه‌گیری قند

۴۵، دوره رسیدگی (روز): ۸۵، درصد پروتئین دانه: ۲۳، عملکرد (کیلوگرم در هکتار): ۲۶۵۰. رقم KS31285. تیپ بیوته، ایستاده، وزن صد دانه (گرم): ۴۱/۸، دوره رسیدگی (روز): ۱۰۱، عملکرد (کیلوگرم در هکتار): ۲۸۰۸)) خریداری شده از مرکز تحقیقات کشاورزی خمین انجام گرفت. مطالعه حاضر در سال ۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه لرستان انجام شد. بذره‌های لوبیا (KS31285 و افق) جهت جوانه‌زنی سریع استریل سطحی (هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه) شده و در گلدان‌های ۱/۵ لیتری حاوی پرلیت به مدت دو هفته در لثاق کشت (دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دما ۵ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نور ۵۰ μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) نگهداری شدند (Kchaou et al., 2010). گلدان‌ها (دو گیاه در هر گلدان) تا حدود یک هفته آبیاری شدند و بعد از یک هفته تا روز چهاردهم به صورت یک روز در میان با محلول غذایی نیم هوگلد آبیاری شدند و سپس، تنش شوری در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار اعمال شد. به منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تنش‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به صورت روزانه (برای غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار از روز یازدهم تا روز چهاردهم و برای غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از روز سیزدهم تا چهاردهم) و با فواصل ۵۰ میلی‌مولار اعمال گردیدند. تیمارهای نهایی از روز چهاردهم شروع و به مدت ده روز ادامه پیدا کرد (Karimi et al., 2007). پس از پایان این دوره زمانی از هر رقم سه تکرار جهت بررسی ریخت‌شناسی طول ساقه و ریشه، وزن تر ساقه و ریشه و وزن خشک ساقه و ریشه برداشت شدند و پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون (۶۰ درجه سانتی‌گراد) به وسیله ترازوی اندازه‌گیری وزن خشک انجام شد.

### اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC)

محتوای آب نسبی برگ برحسب درصد و مطابق فرمول ۱ محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1962):

$$RWC (\%) = [(FW - DW)/(TW - DW)] \times 100 \quad (1)$$

ابتدا وزن تر (FW) نمونه برگ گرفته شد. سپس تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای لثاق داخل آب مقطر قرار گرفتند، پس از آن برگ‌های آماس شده را با کاغذ صافی خشک نموده و وزن آماس شده (TW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. برگ‌ها

۱۰ میلی‌مولار با  $\text{pH} = 7$  و ۱ میلی‌لیتر بافر یدید پتاسیم ۱ مولار در طول موج  $390 \text{ nm}$  خوانده شد (Alexieva et al., 2001). محتوای  $\text{H}_2\text{O}_2$  با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد و بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه گزارش گردید.

### اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم

برای تعیین میزان عناصر موجود در اندام‌های هوایی و زیرزمینی طبق روش تعیین شده توسط حمادا و العنانی، ابتدا ۰/۲ گرم از هر نمونه توزین و آسیاب شد. جهت تعیین میزان عناصر به هریک از نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر استیک‌اسید گلاسیال ۰/۱ نرمال اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتیگراد) نگهداری شد (Hamada and El-enany, 1994). پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در بن‌ماری با دمای ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از بن‌ماری خارج و توسط کاغذ صافی صاف شده و پس از آن میزان سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر (روش شعله‌سنجی) اندازه‌گیری شد.

### تحلیل آماری

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. مقایسه میانگین حاصل از تیمارهای مختلف بر اساس آزمون دانکن ( $P \leq 0.05$ ) و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

#### تأثیر تنش شوری روی میزان شاخص‌های رشدی و محتوای نسبی آب برگ (RWC) در برگ و ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر تمام پارامترهای رشد و محتوای آب نسبی برگ، رقم تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه و اثر متقابل تنش شوری و رقم تأثیر معنی‌داری بر طول اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر و خشک داشتند (جدول ۱). بر اساس نتایج، تحت تنش شوری طول ساقه، ریشه و وزن تر اندام هوایی، ریشه و وزن خشک اندام هوایی، ریشه و همچنین محتوای نسبی آب برگ در دو رقم لوبیا آزمایش شده به میزان معنی‌داری کاهش نشان دادند. طول اندام هوایی در رقم

محلول و قند احیاء‌کننده محلول استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان قند محلول از روش سولفوریک‌اسید استفاده شد. به این صورت، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی به ۳۰۰ میکرولیتر اسیدسولفوریک غلیظ اضافه شد پس از ورتکس و سرد شدن نمونه‌ها در حمام آب یخ، سپس جذب محلول در  $315 \text{ nm}$  خوانده شد (Albalasmeh et al., 2013).

میزان قند احیاء با استفاده از روش ۵،۳-دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید تعیین شد. به این صورت ابتدا معرف دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید (۱ گرم دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید با ۳۰ گرم سدیم پتاسیم تارتارات) تهیه شد. ۴۰۰ میکرولیتر از معرف دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج  $540 \text{ nm}$  خوانده شد (Saqib and Whitney, 2011).

### اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید

بافت‌های تازه برگ و ریشه (۰/۲ گرم) در تری‌کلرواستیک‌اسید ۱٪ (w/v) ساییده شدند و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شدند. مایع‌رویی (۲۵۰ میکرولیتر) به ۵ میلی‌لیتر تیوباریتوریک‌اسید ۰/۵ درصد حل شده در تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد اضافه شد. مخلوط بالا به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده، پس از سرد شدن به مدت ۱۰ دقیقه با دور (۱۰۰۰۰g) سانتریفیوژ شدند. جذب این محلول در طول موج  $532 \text{ nm}$  خوانده شد و سپس جذب بقیه مقادیر غیر اختصاصی در  $600 \text{ nm}$  تعیین و از این مقدار کسر گردید. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی  $156 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  استفاده شد (Heath and Packer, 1968).

### اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن

بافت‌های تازه برگ و ریشه (۰/۲ گرم) در تری‌کلرواستیک‌اسید ۱٪ (w/v) ساییده شدند و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شدند. میزان  $\text{H}_2\text{O}_2$  با استفاده از ۲۵۰ میکرولیتر عصاره، ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات

موجب تنش اسمزی و خشکی می‌شود که به کاهش جذب آب توسط بافت‌های گیاه سبب می‌گردد. این کاهش در محتوای آب منجر به کاهش رشد و نمو سلولی می‌شود که در نتیجه منجر به کاهش رشد ساقه و ریشه می‌گردد (Maghsoumi, Holasoo and Pourakbar, 2014).

کاهش رشد ناشی از تنش شوری در مطالعات مشابهی روی گیاهان مختلف انجام شده که از یافته‌های تحقیق حاضر حمایت می‌کنند (Rahnesan et al., 2018; Sahin et al., 2018). علاوه بر این، در بررسی اثر غلظت‌های نمک بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه مشخص گردید که در هر دو رقم، بیشترین کاهش در سطوح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار رخ داده است که نسبت به گروه شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار است، لیکن این پارامترها در رقم KS31285 نسبت به رقم افق به مراتب کاهش یافته است. مطالعات قبلی بیانگر اثرات کاهشی وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی در گیاهان مختلف تحت تنش شوری می‌باشد (Shaheen et al., 2013; Kapoor and Pande, 2015). محققان مشخص کردند که ارقام حساس نسبت به ارقام متحمل گشنیز تحت تیمارهای مختلف NaCl کاهش بیشتری در وزن تر و خشک نشان می‌دهند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این کاهش در طول و وزن تر و خشک اندام هوایی و زمینی هر دو رقم می‌تواند به دلیل اثر منفی تیمار NaCl باشد (Meriem et al., 2014).

شوری باعث افزایش تنش اسمزی می‌شود که مانع از جذب و انتقال آب می‌شود. این مهار منجر به واکنش‌های متوالی القا شده به وسیله هورمون‌ها می‌شود که می‌تواند باز شدن روزنه، جذب CO<sub>2</sub> و سرعت فتوسنتز را کاهش دهد (Sarker and Oba, 2020). در بررسی حاضر، کاهش رشد بخش ساقه در رقم KS31285 محسوس‌تر از بخش ریشه بود و در بخش ریشه با افزایش میزان تنش شوری از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، کاهش کمتری نسبت به ساقه مشاهده گردید. این مطلب نشان‌دهنده اهمیت و نقش بسیار مهمی است که سیستم ریشه‌ای در جذب حداکثر رطوبت و همچنین تحمل تنش‌های مختلف مانند خشکی و شوری دارد (Bagheri and Sarmadnia, 2007). نتایج ما با تحقیقات دیگر محققان مطابقت دارد (Al-Karaki et al., 1998). آن‌ها نشان دادند که اضافه کردن غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلیکول به مراحل جوانه‌زنی بذر گندم و جو، با

افق در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۲۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد، در حالی که در رقم KS31285 طول ساقه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۷، ۳۲ و ۶۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۱-a). میزان کاهش طول ریشه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۵ و ۳۰ درصد برای رقم افق و برای غلظت‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۵ و ۴۴ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۱-b). میزان کاهش وزن تر اندام هوایی برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۹، ۱۵ و ۴۳ درصد کاهش یافت در حالی که برای رقم KS31285 در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۷، ۵۰ و ۷۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (شکل ۱-c). وزن تر ریشه برای رقم افق در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۲۳ درصد کاهش پیدا کرد و برای رقم KS31285 در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۶، ۵۰ و ۷۲ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۱-d). میزان کاهش وزن خشک اندام هوایی در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۹، ۱۲ و ۳۹ درصد برای رقم افق و ۴۵، ۴۶ و ۵۹ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۱-e). میزان کاهش وزن خشک ریشه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۵، ۲۲ و ۲۳ درصد برای رقم افق و ۴۶، ۲۰ و ۴۳ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۱-f). میزان RWC در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷، ۴ و ۱۵ درصد برای رقم افق و ۹، ۷ و ۲۵ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (شکل ۱-g).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت NaCl، رشد گیاه (طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک برگ و ریشه) در هر دو رقم لوبیا قرمز به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. البته میزان این کاهش در رقم KS31285 در مقایسه با رقم افق بارزتر بوده است، که نشان می‌دهد تنش شوری باعث سرکوب رشد گیاه می‌شود که این سرکوب می‌تواند به علت ممانعت از طویل شدن سلول باشد (Maghsoumi Holasoo and Pourakbar, 2014). تحقیقات نشان داده‌اند که تجمع نمک

شدن روزانه، انتقال مواد جذب شده و تغذیه معدنی به وضعیت آب سلول‌ها بستگی دارد، بنابراین، کاهش محتوای نسبی آب ممکن است تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Ansari et al., 2019). در این مطالعه، میزان RWC برگ نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شوری، میزان RWC در هر دو رقم لوبیا کاهش می‌یابد و رقم افق دارای محتوای RWC برگ بالاتری نسبت به رقم KS31285 بوده است که این افزایش در RWC برگ رقم افق در شرایط تنش شوری ممکن است به دلیل تفاوت در الگوهای جذب یا استفاده از آب باشد (Omae et al., 2005). به نظر می‌رسد محتوای آب بیشتر در سلول‌ها، باعث رقیق شدن سدیم موجود در سیتوسل و دیواره سلولی شده و صدمات به آنها را کاهش می‌دهد. نتایج ما با مطالعاتی که برای بررسی واکنش ارقام فلفل به تنش شوری بود، مشابهت دارد (Okunlola et al., 2017). این یافته‌ها در مجموع نشان می‌دهند که RWC برگ می‌تواند به‌عنوان مارکر برای انتخاب گونه‌های گیاهی متحمل به شوری و یا مقاوم به شوری استفاده شود. با افزایش تنش شوری، انتقال یون و محتوای آن تغییر می‌کند (Taïbi et al., 2016).

کاهش پتانسیل آب ابتدا باعث افزایش طول ریشه و سپس کاهش آن می‌شود.

همچنین گزارش شد که افزایش وزن تر در گیاه به دلیل افزایش جذب یون، افزایش محتوای آب و در نتیجه افزایش تورژسانس و القای رشد می‌باشد. در غلظت‌های شوری بالاتر (۲۰۰ میلی‌مولار) اگرچه جذب یون وجود داشته است، ولی این افزایش یون به اثرات یونی خاص از جمله کاهش غلظت پتاسیم منجر شده که احتمالاً باعث محدود نمودن رشد در غلظت‌های بالاتر NaCl می‌شود (Silambarasan and Natarajan, 2014). افزایش وزن تر در هر دو رقم لوبیا در مطالعه ما در تطابق با این نتایج می‌باشد. در مطالعه‌های دیگر، روی گونه‌های سیاه شور، نشان داده شد که تنش ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت به تنش ۱۰۰ میلی‌مولار قدرت بیشتری در کاهش پارامترهای رشدی دارد که با نتایج مطالعه ما همخوانی داشت (Zhao et al., 1992).

محتوای نسبی آب برگ (RWC) یک مارکر کلیدی برای بررسی تحمل گیاه به شرایط شوری می‌باشد (Mohamed et al., 2020). تقریباً تمام فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سلول‌ها مانند بزرگ شدن سلول، تقسیم سلولی، فتوسنتز، باز

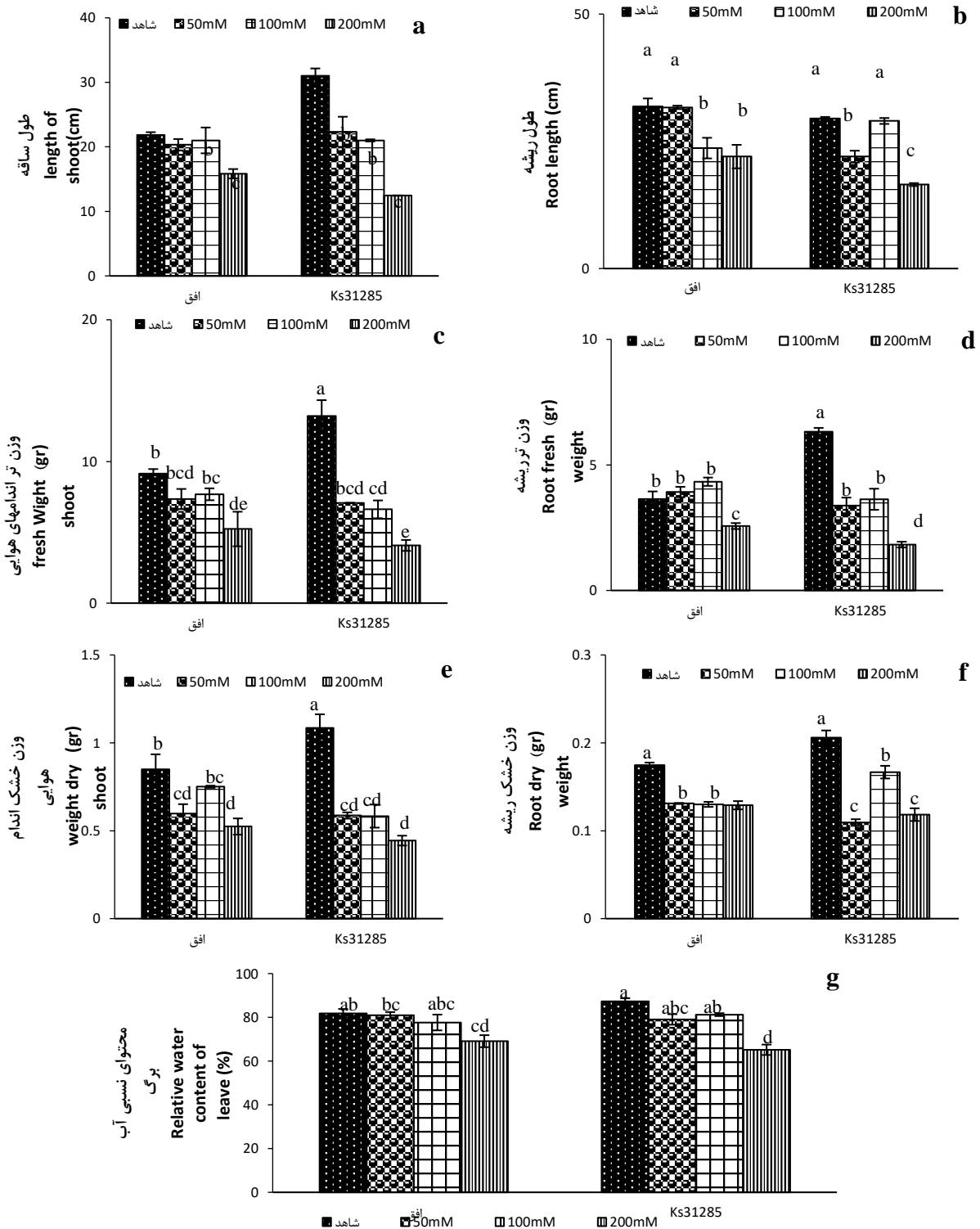
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر طول ساقه، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، محتوای آب نسبی برگ

Table 1 - Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on shoot length, root length, fresh weight shoot, root fresh weight, weight dry shoot, root dry weight, relative water content

میانگین مربعات															
Mean square															
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	سطح معنی‌دار	طول ریشه	سطح معنی‌دار	وزن تر اندام هوایی	سطح معنی‌دار	وزن تر ریشه	سطح معنی‌دار	وزن خشک اندام هوایی	سطح معنی‌دار	وزن خشک ریشه	سطح معنی‌دار	محتوای آب نسبی برگ	سطح معنی‌دار
S.O.V	df	Length shoot	Sig	Root length	Sig	Fresh weight shoot	Sig	Root fresh weight	Sig	Weight dry shoot	Sig	Root dry weight	Sig	Relative water content of leave	Sig
رقم Cultivar	1	203.701	.38 <sup>ns</sup>	55.51	.005 <sup>*</sup>	.913	.452 <sup>ns</sup>	1.133	.11 <sup>ns</sup>	.00	.881 <sup>ns</sup>	.00	.72 <sup>ns</sup>	39.45	.266 <sup>ns</sup>
تنش شوری Salt	3	152.46	0.00 <sup>*</sup>	135.87	.00 <sup>*</sup>	433.53	.000 <sup>*</sup>	7.904	.000 <sup>*</sup>	0.258	.000 <sup>*</sup>	.06	.000 <sup>*</sup>	299.49	.000 <sup>*</sup>
رقم × تنش شوری Salt × Cultivar	3	41.851	.001 <sup>*</sup>	60.28	.000 <sup>*</sup>	9.213	.006 <sup>*</sup>	3.512	.000 <sup>*</sup>	0.45	0.11 <sup>ns</sup>	0.001	.000 <sup>*</sup>	31.75	.389 <sup>ns</sup>

\* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

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



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی (a) طول ساقه (سانتی‌متر)، (b) طول ریشه (سانتی‌متر)، (c) وزن تر اندام هوایی (گرم)، (d) وزن تر ریشه (گرم)، (e) وزن خشک هوایی (گرم)، (f) وزن خشک ریشه (گرم)، (g) محتوای آب نسبی آب برگ (درصد) در دو رقم لوبیا قرمز (افق، Ks31285). مقادیر میانگین سه تکرار ± SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه به‌طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 1- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on some morphological indicators a) Length of shoot (cm). b) Root length (cm). c) Fresh weight shoot (grams). d) Root fresh weight (gram). e) Weight dry shoot (gram). f) Root dry weight (gram). g) Relative water content of leaf (%) in two varieties of red bean (Ofogh, Ks31285). Mean values of three repetitions ± SE. The comparison of the means in leaves and roots was done separately. Unsimilar letters in leaves and roots indicate a significant difference at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

### اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری روی رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید) تأثیر معنی‌داری داشت. در مورد رقم روی رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید) تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲).

براساس نتایج تنش شوری، میزان کاهش کلروفیل a در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۷، ۲۹ و ۳۱ درصد برای رقم افق و ۳۶، ۳۱ و ۳۱ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۲-a). میزان کاهش کلروفیل b در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ۳۴ و ۵۹ درصد برای رقم افق و ۴۲، ۳۸ و ۳۸ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۲-b). میزان کلروفیل کل در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ۲۹ و ۳۴ درصد برای رقم افق و ۳۸، ۳۳ و ۳۲ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۲-c). میزان کاروتنوئید برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۰، ۳۳، ۲۴ درصد در مقایسه با شاهد و برای رقم KS31285 به ترتیب ۲۸، ۳۵ و ۲۷ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۲-d).

غلظت بالای  $Na^+$  در اندام‌های هوایی منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و مزوفیل می‌شود، درحالی‌که تجمع یون کلر، کلروفیل را از بین می‌برد و PSII را مختل می‌کند (Mbariki et al., 2018). کاهش وزن خشک برگ و ریشه گیاهان در

شرایط تنش شوری را می‌توان به کاهش تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین خشکی ناشی از تنش شوری نسبت داد که باعث کاهش پتانسیل اسمزی در محیط رشد می‌شود و در نهایت گیاه را مجبور به استفاده از ترکیبات یونی برای تنظیم اسمزی می‌کند (Narimani et al., 2020). در این تحقیق تنش شوری باعث کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها) در هر دو رقم لوبیا قرمز شد، که مطابق با مطالعات روی تربچه و لوبیا قرمز می‌باشد (Noreen and Ashraf, 2009; Turan et al., 2007). کاهش سطح کلروفیل در گیاهان تحت تنش شوری به‌عنوان یک علامت معمول تنش اکسیداتیو در نظر گرفته شده است (Smirnoff, 1996). به مهار سنتز کلروفیل همراه با فعال شدن تخریب آن توسط آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (Taïbi et al., 2016).

کاروتنوئیدها گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپرنوئید و رنگدانه‌های کلیدی سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان هستند و نقش مهمی در حفاظت نوری به‌خصوص در شرایط تنش دارند (Taïbi et al., 2016). کاهش مقدار کاروتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت این ترکیبات به‌دلیل ایفای نقش حفاظتی آن‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان باشد. از طرفی دیگر، در طی ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در شرایط تنش، فرایند تجزیه شدن این ترکیبات نسبت به بیوسنتز آن‌ها بیشتر انجام گرفته است. این داده‌ها با نتایج به‌دست آمده در *P. vulgaris* L. و نتایج ژنوتیپ‌های ذرت و گندم هم‌خوانی دارد (Gadallah et al., 1999; Singh et al., 2008).

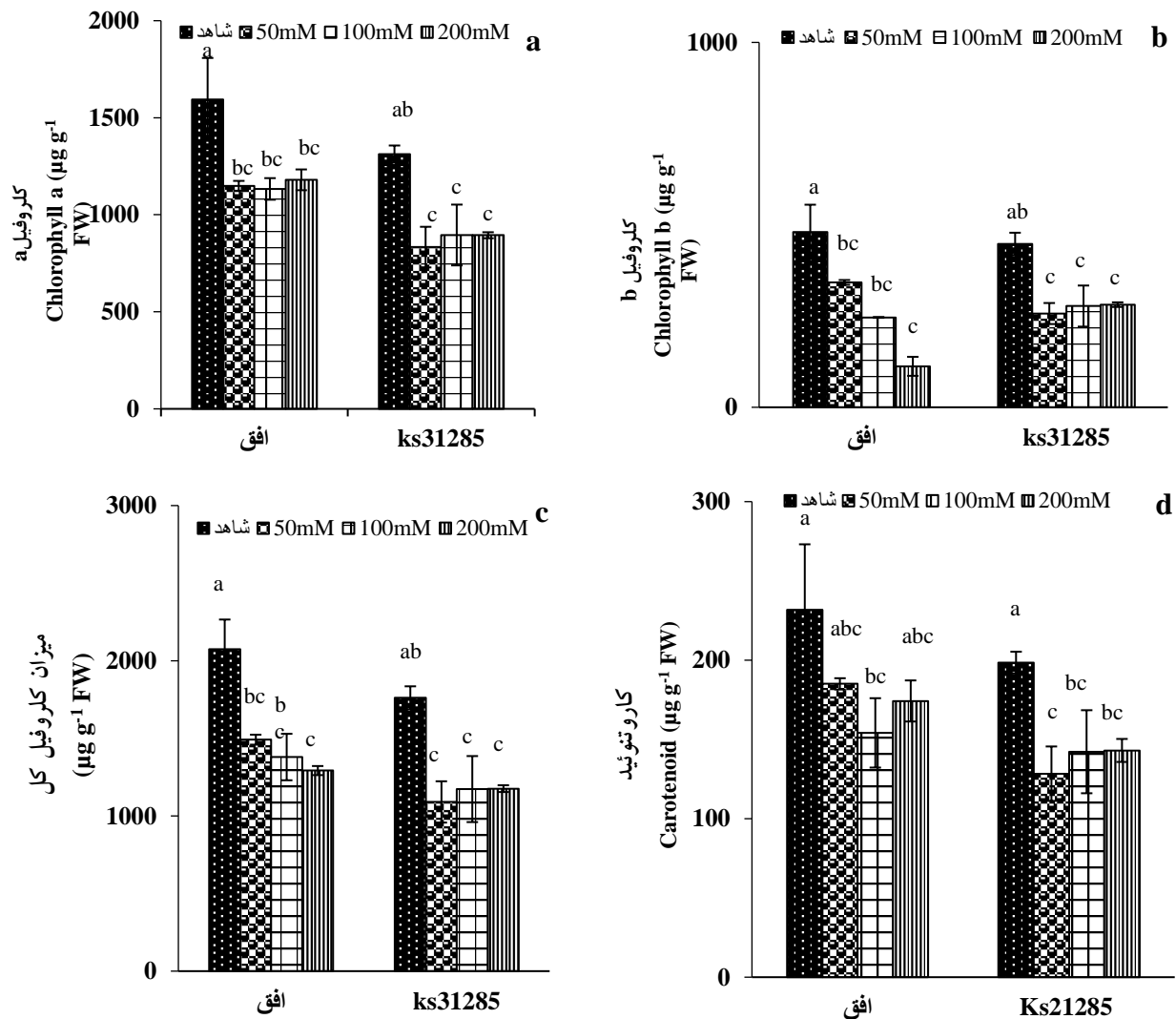
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید

Table 2 - Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid in leaves and roots

میانگین مربعات									
Mean square									
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	سطح کلروفیل a	کلروفیل b	سطح کلروفیل b	کلروفیل کل	سطح معنی‌دار	کاروتنوئید	سطح معنی‌دار
S.O.V	df	chlorophyll a	معنی‌دار Sig	Chlorophyll b	معنی‌دار Sig	total chlorophyll	Sig	Carotenoid	Sig
رقم	1	435198	.002 *	4191	.399 ns	524793	.003 *	6630	.038 *
Cultivar									
تنش شوری	3	295765	.001 *	52510	.001 *	589276	.000 *	5634	.020 *
Salt									
رقم × تنش شوری	3	2437	.973 ns	4566	.503 ns	13446	.818 ns	505	.762 ns
Salt × Cultivar									

\* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

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



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر میزان (a) کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تر)، (b) کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تر)، (c) کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم وزن تر)، (d) کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم وزن تر). در دو رقم لوبیا قرمز (افق، KS31285). مقادیر میانگین سه تکرار  $\pm$  SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 2- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on the amount of a) Chlorophyll a ( $\mu\text{g/g}$  fresh weight). b) Chlorophyll b ( $\mu\text{g/g}$  fresh weight). c) total chlorophyll ( $\mu\text{g}/\text{fresh weight}$ ). d) Carotenoid (micrograms per gram fresh weight). in two bean cultivars (Ofogh, KS31285). Mean values of three repetitions  $\pm$  SE. The comparison of the averages was done separately in the leaf. Dissimilar letters in the leaf indicate a significant difference at the 5% level based on Duncan's test between the treatments.

افزایش نشان داد (شکل ۳-۱). در ریشه، میزان پروتئین در افق و KS31285 در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تغییر نکرد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۱۷ و ۱۷۶ در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۳-۲).

نتایج ما در این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت نمک در این آزمایش غلظت پروتئین برگ و ریشه در هر دو رقم افزایش یافت، البته میزان این افزایش در رقم KS31285 بیشتر بود. این امر می‌تواند به دلیل حساسیت بیشتر رقم KS31285

### اثر تنش شوری روی میزان پروتئین در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر سطح پروتئین برگ و ریشه و اثر متقابل رقم و تنش شوری تأثیر معنی داری بر پروتئین ریشه داشتند (جدول ۳).

در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، میزان پروتئین برگ به ترتیب ۲۰ و ۴۵ درصد در رقم افق افزایش پیدا کرد و میزانش در رقم KS31285 تحت تنش شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۵، ۳۵ و ۵۴ درصد، در مقایسه با شاهد

### تأثیر تنش شوری روی میزان کربوهیدرات کل در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر سطح کربوهیدرات کل برگ و ریشه داشت (جدول ۳). میزان کربوهیدرات کل برگ در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۲، ۴۵ و ۱۵۰ درصد افزایش را در مقایسه با شاهد نشان داد و میزانش در رقم KS31285 در ۲۰۰ میلی‌مولار ۱۱۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داشت (شکل ۳-۳)، میزان کربوهیدرات کل ریشه در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ۴۴ و ۸۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد در حالی که در رقم KS31285، میزانش در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی داری با شاهد نشان نداد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۷۹ در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۳-۳).

### اثر تنش شوری روی میزان کربوهیدرات احیاءکننده در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر سطح کربوهیدرات احیاءکننده برگ و ریشه و رقم تأثیر معنی داری بر سطح کربوهیدرات احیاءکننده ریشه داشتند (جدول ۳).

به تنش شوری باشد. پرولین جزء متابولیت‌های محافظ که کاهش پتانسیل آب سلول از سمیت مضر تنش شوری جلوگیری می‌کند و بدین ترتیب سبب افزایش پایداری غشا سلول می‌شود (Benhassaini et al., 2012). مطالعات نشان دادند که پرولین در ارقام حساس به تنش شوری، افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد و تجمع آن باعث القای مقاومت در برابر شوری می‌شود (El kholy et al., 2021).

محققان نشان دادند که انباشت پرولین در گندم، جو و سورگوم نشان‌دهنده حساسیت نسبی این ارقام در مقابل تنش است (Tavakoli et al., 2016).

بنابراین، احتمالاً تفاوت در مقاومت به شوری بین گونه‌ها و ارقام ممکن است به دلیل تفاوت در سنتز اسمولیت‌های سازگاری مانند پرولین باشد (Maighany and Ebrahimzadeh, 2002).

با توجه به نتایج حاضر از لحاظ متابولیسم پرولین می‌توان به مقاوم و سازش پذیر بودن رقم افق در مقایسه با رقم KS31285 تاکید نمود. این افزایش پرولین در ریشه و برگ هر دو رقم لوبیا قرمز می‌تواند در پاسخ به کاهش RWC برگ ناشی از تنش شوری باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد که گیاهان لوبیا این پاسخ‌ها را برای مقاومت در برابر اتلاف آب ناشی از تنش شوری ایجاد می‌کنند (Narimani et al., 2020).

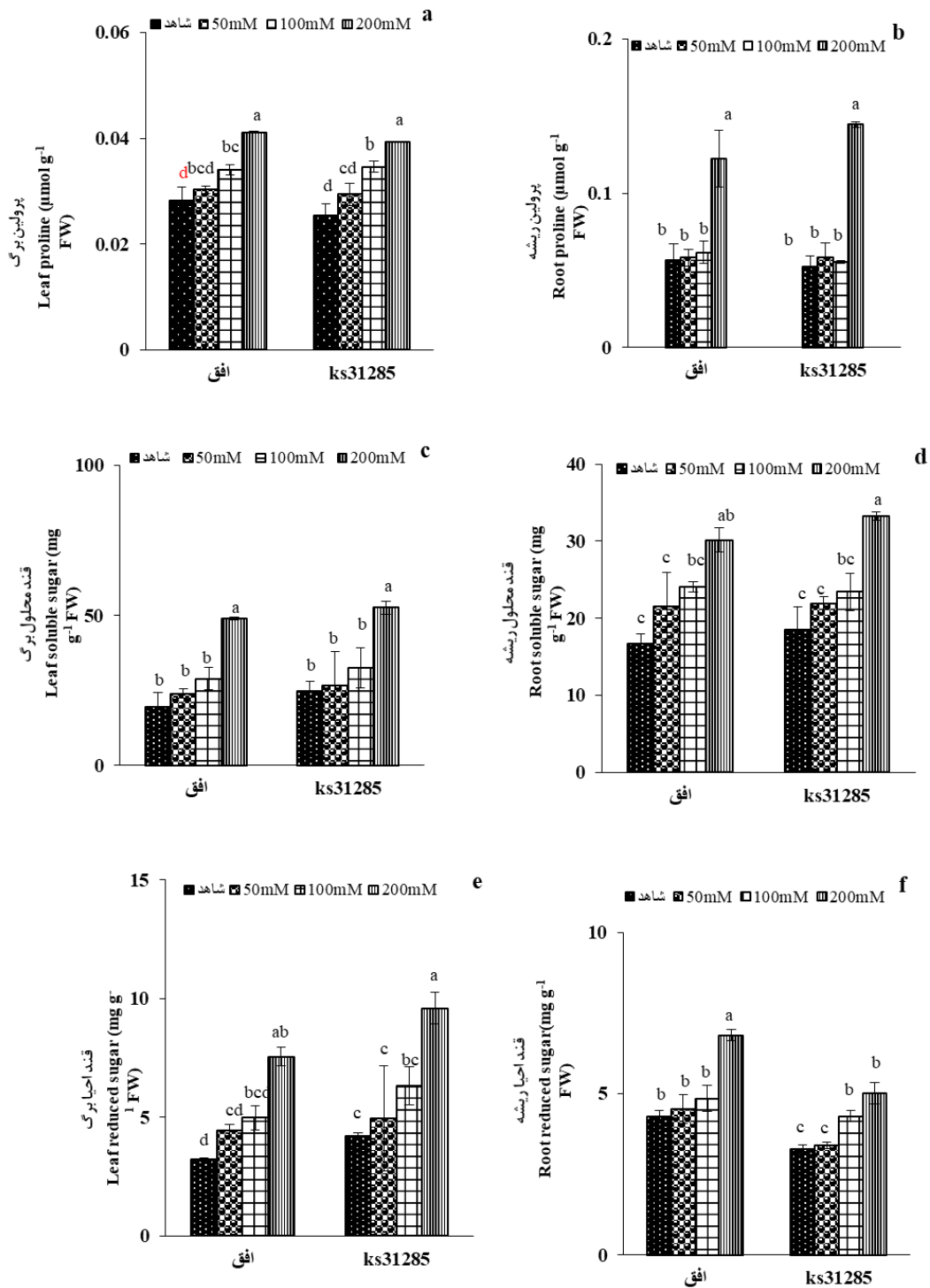
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر پرولین، قند کل، قند احیا برگ و ریشه

Table 3 - Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on proline, soluble sugar, reduced sugar in leaves and roots

Mean square میانگین مربعات													
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پرولین			قند کل			قند احیا			قند احیا		
		برگ Leaf proline	ریشه Root proline	مقارده Sig	برگ Leaf soluble sugar	ریشه Root soluble sugar	مقارده Sig	برگ Leaf reduced sugar	ریشه Root reduced sugar	مقارده Sig	برگ Leaf reduced sugar	ریشه Root reduced sugar	مقارده Sig
رقم Cultivar	1	8.10	.273 <sup>ns</sup>	5.132	.659 <sup>ns</sup>	86.002	.336 <sup>ns</sup>	7.541	.489 <sup>ns</sup>	8.981	.073 <sup>*</sup>	7.540	.000 <sup>*</sup>
تنش شوری Salt	3	.000	.000 <sup>*</sup>	.009	.000 <sup>*</sup>	990.930	.000 <sup>*</sup>	209.525	.000 <sup>*</sup>	26.355	.000 <sup>*</sup>	5.596	.000 <sup>*</sup>
رقم × تنش شوری Salt × Cultivar	3	3.160	.717 <sup>ns</sup>	.000	.422 <sup>ns</sup>	1.721	.996 <sup>ns</sup>	4.028	.847 <sup>ns</sup>	.609	.861 <sup>ns</sup>	.398	.202 <sup>ns</sup>

\* و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی دار است.

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



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) بر میزان (a) پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)، (b) پرولین ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر)، (c) قند محلول برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)، (d) قند محلول ریشه (میلی گرم بر گرم وزن تر)، (e) قند احیا برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)، (f) قند احیا ریشه (میلی گرم بر گرم وزن تر) در دو رقم لوبیا (افق، KS31285). مقادیر میانگین سه تکرار  $\pm$  SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 3- The effect of different treatments of salinity stress (50, 0, 100 and 200 mM) on the amount of a) Leaf proline (micromol per gram of fresh weight), b) Root proline (micromol/g fresh weight), c) Leaf soluble sugar (mg/g fresh weight), d) Root soluble sugar (mg/gram of fresh weight), e) Leaf reduced sugar (mg/gram of fresh weight), f) Root reduced sugar (mg/gram of fresh weight) in two bean cultivars (Ofogh, KS31285). Mean values of three repetitions  $\pm$  SE. The comparison of the averages in leaves and roots was done separately. Dissimilar letters in leaves and roots indicate a significant difference at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

به قند است که به عنوان یک شاخص مطلوب در شناسایی ارقام متحمل به تنش استفاده می‌شود (Alavi and Abbaspour, 2020). ارقام مقاوم از طریق انباشت محلول‌های آلی مانند کربوهیدرات‌ها و اسیدآمین‌ها تنظیم اسمزی را در سلول‌های خود انجام می‌دهند (Reisi et al., 2021). تنظیم اسمزی منجر به تغییر در ارتباط بین تورژسانس و محتوای آب نسبی می‌شود. در شرایط تنش شوری، به دلیل افزایش اسمولاریت‌ها برای تنظیم اسمزی، فشار تورژسانس تغییر نمی‌کند، اما از آنجا که انباشت این اسمولیت‌ها سبب جذب آب بیشتر و افزایش وزن آماس برگ می‌شود، میزان آب نسبی کاهش می‌یابد. محتوای آب نسبی برگ، به دلیل سهولت اندازه‌گیری و هزینه کم، آن را به عنوان یک شاخص مطلوب در انتخاب گونه یا رقم متحمل به تنش شوری پیشنهاد می‌کنند (Alzahrani et al., 2019; Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019).

#### تأثیر تنش شوری روی میزان پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین رقم از لحاظ همه صفات به استثنای پراکسید هیدروژن ریشه معنی‌دار می‌باشد، تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر همه صفات و اثر متقابل رقم و تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر پراکسید هیدروژن برگ داشتند (جدول ۴).

میزان کربوهیدرات احیاءکننده برگ در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳۷، ۵۴ و ۱۳۵ درصد افزایش پیدا کرد و میزانش برای رقم KS31285 در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۰ و ۱۲۷ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۳-e). در حالی که میزان کربوهیدرات احیاءکننده ریشه در رقم افق در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری ۵۸ درصد افزایش یافت و میزانش در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری در رقم KS31285 به ترتیب ۳۲ و ۵۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داشت (شکل ۳-f).

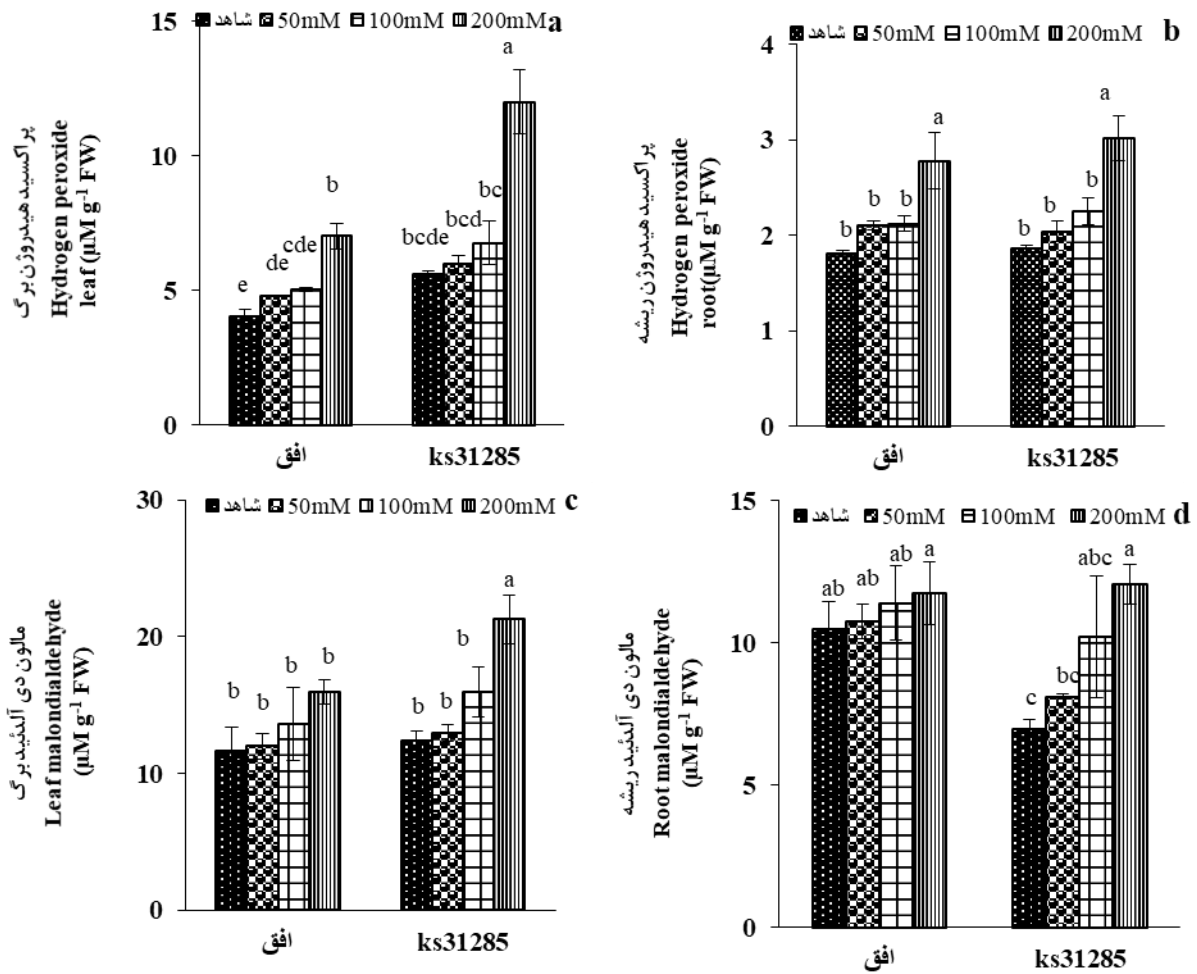
نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که بر اثر تنش شوری میزان قندهای احیاء و محلول در دو رقم افزایش می‌یابد. محتوای قندهای احیاءکننده و کل در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار در اندام‌های هوایی و زمینی رقم حساس KS31285 به مراتب کمتر از میزان قندهای موجود در لندام‌هایی هوایی و زمینی رقم افق بوده است. هم‌راستا با نتایج ما بسیاری از محققان گزارش کردند که تنش شوری باعث تحریک تجمع قندهای احیاءکننده و کربوهیدرات‌های محلول در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند جو، سورگوم و بادمجان شد (Saad-Allah, 2015). افزایش قندهای محلول در پاسخ به شوری ممکن است باعث جابه‌جایی کمتر آنها از برگ‌ها شود. مصرف کمتر کربوهیدرات در برگ‌ها ناشی از کاهش رشد و تغییرات دیگری مانند هیدرولیز نشاسته

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید برگ و ریشه

میانگین مربعات									
Mean square									
منابع تغییرات	درجه آزادی	پراکسید هیدروژن برگ	سطح معنی‌دار	پراکسید هیدروژن ریشه	سطح معنی‌دار	مالون دی‌آلدئید برگ	سطح معنی‌دار	مالون دی‌آلدئید ریشه	سطح معنی‌دار
S.O.V	df	Hydrogen peroxide leaf	Sig	Hydrogen peroxide root	Sig	Leaf Malondialdehyde	Sig	Root malondialdehyde	Sig
رقم	1	33.705	.000 *	.048	.418 ns	32.736	.049 *	18.438	.035 *
Cultivar									
تنش شوری	3	26.742	.000 *	1.261	.000 *	54.431	.002 *	11.961	.044 *
Salt									
رقم × تنش شوری	3	4.661	.013 *	.25	.789 ns	6.685	.450 ns	4.252	.339 ns
Salt × Cultivar									

\* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

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



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر میزان (a) پراکسید هیدروژن برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)، (b) پراکسید هیدروژن ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر)، (c) مالون دی آلدئید برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)، (d) مالون دی آلدئید ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر) در دو رقم لوبیا (افق، KS31285). مقادیر میانگین سه تکرار  $\pm$  SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 4- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on the amount of a) Hydrogen peroxide leaf (micromoles per gram of fresh weight), b) Hydrogen peroxide root (micromol/g fresh weight), c) Leaf Malondialdehyde (micromol/g fresh weight), d) Root malondialdehyde (micromol/g fresh weight) in two bean cultivars (Ofogh, KS31285). Mean values of three repetitions  $\pm$  SE. The comparison of the averages in leaves and roots was done separately. Dissimilar letters in leaves and roots indicate a significant difference at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد، و این میزان برای رقم KS31285 به ترتیب ۳، ۳۶ و ۷۱ درصد، در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۴- c). در ریشه، میزان مالون‌دی‌آلدئید در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳، ۹ و ۱۲ برای رقم افق و ۱۷، ۴۶ و ۷۲ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۴- d). بدیهی است، گیاهانی که از سمیت NaCl رنج می‌برند اغلب علائم مرتبط با تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدی غشایی را نشان می‌دهند که می‌تواند منجر به تجمع  $\text{H}_2\text{O}_2$  و

میزان پراکسید هیدروژن برگ برای رقم افق در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۳ و ۷۲ درصد و میزان آن برای رقم KS31285 در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۱۱۳ درصد در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۴- a). در رقم افق، میزان پراکسید هیدروژن ریشه در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۵۳ درصد افزایش یافت و این میزان در رقم KS31285 در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۰ و ۶۳ درصد، در مقایسه با شاهد، بود (شکل ۴- b). در حالی که میزان مالون‌دی‌آلدئید برگ برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و

معنی داری روی فاکتورهای (سدیم برگ و ریشه، پتاسیم برگ و ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم برگ و ریشه) و رقم، اثر متقابل رقم و تنش شوری تأثیر معنی داری روی فاکتورهای (سدیم ریشه، پتاسیم ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه) داشتند (جدول ۵).

میزان سدیم برگ در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۱، ۳۴ و ۲۰۵۵ درصد برای رقم افق و ۵۴، ۱۲۴ و ۳۲۷۲ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل a-۵). میزان افزایش سدیم ریشه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۹۷۹، ۱۰۳۲ و ۱۰۱۹ درصد برای رقم افق و ۲۰۹، ۱۲۱ و ۱۸۳ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد بود (شکل b-۵). در حالی که میزان پتاسیم برگ در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار برای رقم KS31285 تفاوت معنی داری با شاهد را نشان نداد، میزان آن در رقم افق در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار، ۵۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل c-۲). میزان پتاسیم ریشه در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷۵، ۸۳ و ۸۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد و میزانش در رقم KS31285 در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۲ و ۸۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد (شکل d-۵).

MDA شود (Abdelrhim et al., 2021). در این مطالعه، شوری بالا باعث تولید بیش از حد  $H_2O_2$  و تجمع MDA در اندام‌هایی هوایی و زمینی هر دو رقم لوبیا شد. با این حال، افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در رقم KS31285 ملموس‌تر و سریع‌تر از رقم افق بوده است. در هر دو رقم، ۱۰ روز پس از اعمال تنش، بیشترین افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید و همچنین پراکسید هیدروژن در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. گزارش‌های متعددی در مورد افزایش MDA در آفتابگردان و کلزا وجود دارد (Ramaswamy and Seeta, 2018; Hasanuzzaman et al., 2014). در ذرت، تنش شوری طولانی مدت محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ را کاهش و محتوای MDA و  $H_2O_2$  را افزایش داد (Morsali Aghajari et al., 2020). در این تحقیق رقم KS31285 میزان MDA و  $H_2O_2$  بیشتری نسبت به رقم افق در برگ و ریشه خود داشته است. این امر دلالت بر این دارد که میزان MDA و  $H_2O_2$  بیشتر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر به تنش اکسایشی است. کمتر بودن میزان MDA و  $H_2O_2$  در رقم افق می‌تواند به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه باشد.

### تأثیر تنش شوری روی میزان سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر

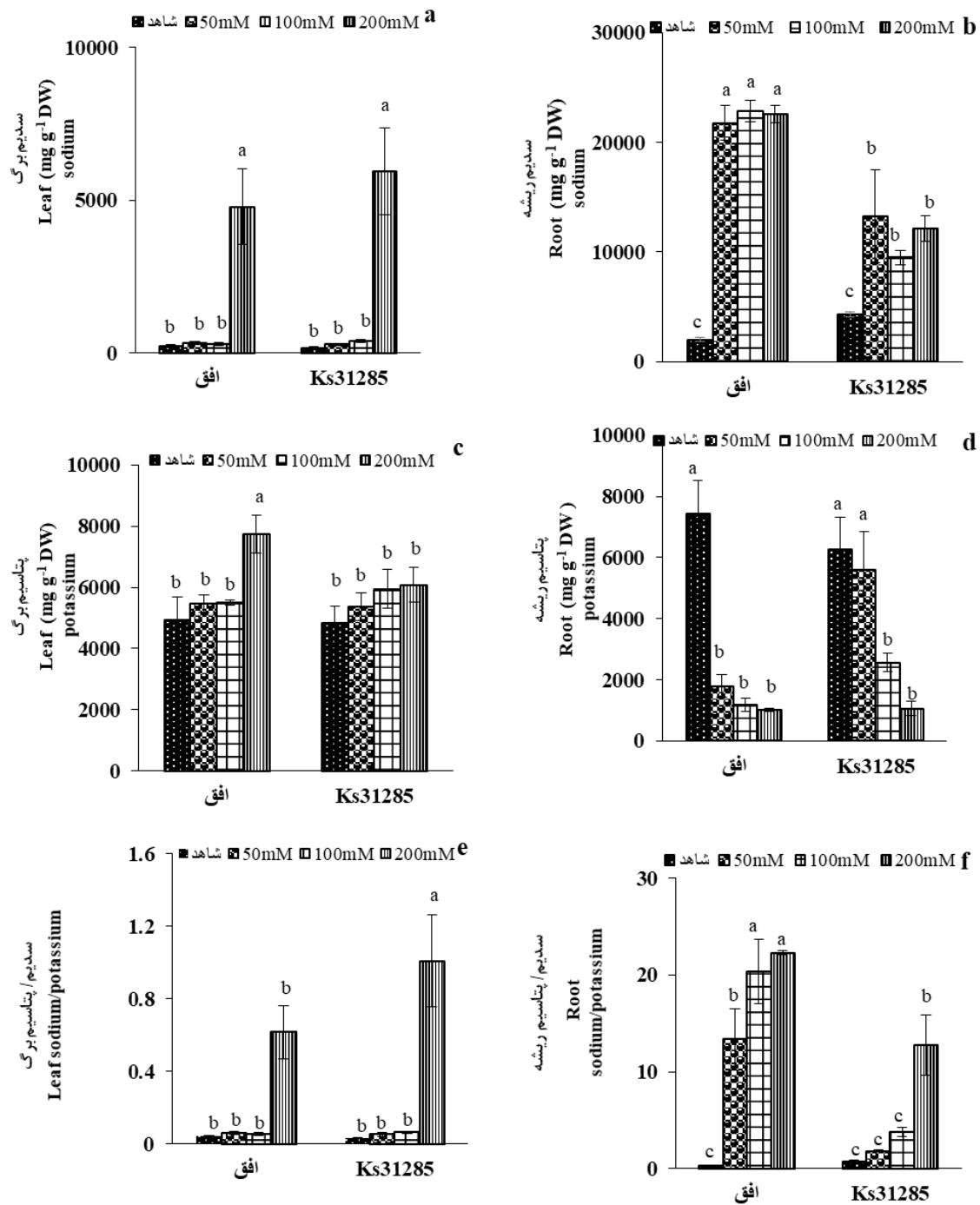
جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم و پتاسیم برگ و ریشه

Table 5- Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on sodium, potassium and ratio of sodium and potassium in leaves and roots

میانگین مربعات													
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سدیم برگ Leaf sodium	سطح معنی‌دار Sig	سدیم ریشه Root sodium	سطح معنی‌دار Sig	پتاسیم برگ Leaf potassium	سطح معنی‌دار Sig	پتاسیم ریشه Root potassium	سطح معنی‌دار Sig	برگ/پتاسیم برگ Ratio of sodium to potassium leaves	سطح معنی‌دار Sig	ریشه/پتاسیم ریشه Ratio of sodium to potassium root	سطح معنی‌دار Sig
رقم Cultivar	1	510406	.545 <sup>ns</sup>	3.400	000*	727275	.370 <sup>ns</sup>	1.401	.018*	.560	.206 <sup>ns</sup>	519.280	.000*
تنش شوری Salt	3	3.890	.000*	2.908	000*	4387090	.011*	4.245	.000*	.868	.000*	311.301	.000*
رقم × تنش شوری Salt × Cultivar	3	522616	.761 <sup>ns</sup>	6.982	.002*	1236698	.266 <sup>ns</sup>	1.412	.003*	.058	.189 <sup>ns</sup>	76.143	.004*

\* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

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



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر میزان (a) سدیم برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (b) سدیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (c) پتاسیم برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (d) پتاسیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (e) نسبت سدیم به پتاسیم برگ، (f) نسبت سدیم به پتاسیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). در دو رقم لوبیا (افق، Ks31285). مقادیر میانگین سه تکرار  $\pm$  SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه به طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 5- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on the amount of a) Leaf sodium (mg/g dry weight), b) Root sodium (mg/g dry weight), c) Leaf potassium (mg/g dry weight), (d) Root potassium (mg/gram dry weight), (e) Ratio of sodium to potassium leaves, f) Ratio of sodium to potassium root in two bean cultivars (Ofogh, Ks31285). The mean values of three replicates  $\pm$  SE. The comparison of means in leaves and roots was done separately. Different letters in leaves and roots indicate significant differences at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

یافته‌ها در مجموع نشان می‌دهند که مقاومت به شوری به‌طور منفی با غلظت سدیم و به‌طور مثبت با غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ همبستگی دارد و این همبستگی به اندازه‌ای است که می‌توان از آن به‌عنوان یک معیار انتخابی برای اصلاح ارقام مقاوم به تنش شوری استفاده کرد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به سطح بالای کشت لوبیا در ایران و حساسیت بالای این گیاه به شوری، شناسایی ارقام لوبیای مقاوم و حساس به شوری کمک مهمی به حل کشت این گیاه در مناطق شور می‌نماید، لذا در این مطالعه، تأثیر سطوح مختلف تنش شوری در دو رقم لوبیا قرمز (افق و KS31285) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، با افزایش غلظت سدیم کلرید، شاخص‌های بیوشیمیایی مانند میزان مالون‌دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن، کربوهیدرات احیاء و محلول، پرولین و غلظت سدیم و پتاسیم افزایش یافت و پارامترهای فیزیولوژیک مانند میزان کلروفیل، کاروتنوئیدها، محتوای آب نسبی برگ و شاخص‌های رشد کاهش پیدا کردند، اگرچه هر دو رقم لوبیا واکنش منفی زیادی به شوری نشان داده‌اند، اما در کل واکنش رقم افق نسبت به رقم KS31285 ملایم‌تر بوده است. احتمالاً مقاومت بهتر رقم افق نسبت به رقم KS31285 ناشی از غلظت کمتر سدیم و غلظت بیشتر پتاسیم در برگ‌ها، تجمع بالاتر فندهای احیاء‌کننده و کل و کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در برگ و ریشه است که منجر به کاهش تخریب غشای سلولی می‌گردد. مجموع این عوامل منجر به بیشتر بودن شاخص‌های رشد (ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و زمینی) و RWC رقم افق در مقایسه با رقم KS31285 در تمام سطوح شوری گردید. در این آزمایش نیز افزایش غلظت پرولین در رقم حساس KS31285 تحت تنش شوری را می‌توان به تجزیه بیشتر پروتئین‌ها نسبت داد و حساسیت این رقم را به شوری تفسیر کرد.

نسبت سدیم به پتاسیم برگ در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۳، ۳۹ و ۱۲۹۷ درصد برای رقم افق و ۴۸، ۸۷ و ۲۷۰۸ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۵-e). در ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم ریشه برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۴۸۸، ۶۸۸۶ و ۷۵۵۸ درصد برای رقم و ۱۴۸، ۴۲۸ و ۱۶۸۰ درصد برای رقم KS31285، در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۵-f).

گیاهان مختلف از استراتژی‌های مختلفی برای مقابله با سمیت سدیم استفاده می‌کنند. برخی از گیاهان سدیم را به برگ‌ها منتقل می‌کنند و آن را در واکنش انباشته می‌کنند، در حالی که برخی دیگر سدیم را در سطح ریشه بیرون می‌دهند (Tejera et al., 2006). افزایش جذب پتاسیم نیز یک استراتژی شناخته شده برای مقابله با ورود سدیم است (Serrano et al., 1999). در تحقیق حاضر، افزایش غلظت NaCl باعث تجمع میزان سدیم در اندام هوایی و ریشه هر دو رقم شد و همچنین این افزایش غلظت در هر دو رقم سبب کاهش میزان یون پتاسیم در ریشه گردید، که با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت (Narimani et al., 2020).  $\text{Na}^+$  یک اثر بازدارنده رقابتی بر روی مکان‌های جذب  $\text{K}^+$  ارائه می‌دهد که باعث می‌شود گیاهان تحت تنش شوری از آسیب  $\text{Na}^+$  و  $\text{K}^+$  ناکافی رنج ببرند (Ran et al., 2022). بنابراین، محتوای  $\text{K}^+$  در ریشه گیاهان با تشدید تنش شوری کاهش یافت. رقم حساس KS31285 تحت شرایط تنش شوری میزان یون سدیم بیشتری را نسبت به رقم مقاوم افق در اندام‌های هوایی خود ذخیره کرده که سبب بروز خسارت اسمزی، سمیت یونی بیشتر در این رقم گردیده است، این امر می‌تواند دلیلی برای کاهش بیشتر وزن خشک KS31285 نسبت به افق باشد. علاوه بر این در سطوح مختلف شوری، نسبت  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ریشه به‌طور کلی بیشتر از برگ بود. این نشان می‌دهد که هر دو رقم لوبیا می‌توانند با تنظیم انتخاب و انتقال یون، آسیب تنش شوری به بافت‌های بالای زمین را کاهش دهند (Ran et al., 2022). این

### References

- Abdelrhim, A.S., Mazrou, Y.S., Nehela, Y., Atallah, O.O., El-Ashmony, R.M. and Dawood, M.F., 2021. Silicon dioxide nanoparticles induce innate immune responses and activate antioxidant machinery in wheat against *Rhizoctonia solani*. *Plants*, 10, 2758. <https://doi.org/10.3390/plants10122758>

- Alavi, S.L. and Abbaspour, N., 2020. Evaluation of salt (NaCl) tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3, pp.53–66. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2020.2738.1084>
- Albalasmeh, A.A., Berhe, A.A. and Ghezzehei, T.A., 2013. A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydrate Polymers*, 97, pp.253–261. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.072>
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E., 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24, pp.1337–1344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- Al-Karaki, G.N., 1998. Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181, pp.229–235. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.1998.tb00422.x>
- Alzahrani, S.M., Alaraidh, I.A., Migdadi, H., Alghamdi, S., Khan, M.A. and Ahmad, P., 2019. Physiological, biochemical, and antioxidant properties of two genotypes of *Vicia faba* grown under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 51, pp.786–798. [https://doi.org/10.30848/pjb2019-3\(3\)](https://doi.org/10.30848/pjb2019-3(3))
- Ansari, M., Shekari, F., Mohammadi, M., Végvári, G. and Biró, B., 2019. Effect of irrigation with saline water on ion homeostasis and forage dry yield in alfalfa ecotypes. *Desert*, 24, pp.1–12. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2019.72430>
- Bagheri, K.A. and Sarmadnia, G., 2007. Studying ability to use polyethylene glycol 6000 to study dryness in (*Onobrychis viciifolia*). *Agriculture Resources and Science Magazine*, 5(1), pp.1–9.
- Barrs, H. and Weatherley, P., 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, pp.413–428. <https://doi.org/10.1071/bi9620413>
- Bates, L., Waldren, R.A. and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205–207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Craig, R. and Lynch, J.P., 2002b. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Science*, 42, pp.1584–1594. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1584>
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Debouck, D.G. and Lynch, J.P., 2002a. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Science*, 42, pp.2184–2192. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.2184>
- Benhassaini, H., Fetati, A., Hocine, A.K. and Belkhodja, M., 2012. Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(2), pp.159–165.
- Dirgantara Namangboling, A. and Kesamai, N., 2023. The effect of red bean soup (*Phaseolus vulgaris* L.) on hemoglobin levels of female students. *International Journal of Nutrition Sciences*, 8, pp.71–73. <https://doi.org/10.30476/ijns.2023.98307.1231>

- El Kholly, R.I., Sayed, A., El-Shaer, H. and Hanafy, M.S., 2021. Impact of sea salt stress on growth and some physiological attributes of two soybean cultivars. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 46, pp.88–100. <https://doi.org/10.21608/ajar.2021.245619>
- Gadallah, M., 1999. Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biologia Plantarum*, 42, 249–257. <https://doi.org/10.1023/a:1002164719609>
- Hamada, A. and El-Enany, A., 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral contents of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, pp.75–81. <https://doi.org/10.1007/BF02921273>
- Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., Nahar, K., Ahamed, K.U. and Fujita, M., 2014. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress-induced oxidative damage in *Brassica napus*. *Australian Journal of Crop Science*, 8, pp.631–639.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Mahmud, J.A., Fujita, M. and Fotopoulos, V., 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, 9, 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, pp.189–198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Islam, F., Wang, J., Farooq, M.A., Yang, C., Jan, M., Mwamba, T.M., Hannan, F., Xu, L. and Zhou, W., 2019. Rice responses and tolerance to salt stress. In *Advances in rice research for abiotic stress tolerance* (pp.791–819). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814332-2.00040-x>
- Kapoor, N. and Pande, V., 2015. Effect of salt stress on growth parameters, moisture content, relative water content and photosynthetic pigments of fenugreek cultivar RMt-1. *Journal of Plant Sciences*, 10, pp.210–221. <https://doi.org/10.3923/jps.2015.210.221>
- Karimi, G., Ghorbanli, M. L., Heidari, H. and Asareh, M., 2007. Investigation of salt tolerance mechanisms in range species of *Atriplex verrucifera*. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 19(3), pp.42–48. [In Persian].
- Kchaou, H., Larbi, A., Gargouri, K., Chaieb, M., Morales, F. and Msallem, M., 2010. Assessment of tolerance to NaCl salinity of five olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 124, pp.306–315. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.007>
- Kosar, F., Akram, N.A., Ashraf, M., Ahmad, A., Alyemeni, M.N. and Ahmad, P., 2021. Impact of exogenously applied trehalose on sunflower under drought stress. *Physiologia Plantarum*, 172, pp.317–333. <https://doi.org/10.1111/ppl.13155>
- Kumar, S., Li, G., Yang, J., Huang, X., Ji, Q., Liu, Z., Ke, W. and Hou, H., 2021. Effect of salt stress on growth and physiology of water dropwort. *Frontiers in Plant Science*, 12, 660409. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.660409>
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls. *Biochemical Society Transactions*, 11, pp.591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Maghsoumi Holasoo, S. and Pourakbar, L., 2014. Effects of salinity stress on wheat seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6, pp.31–42. [In Persian].

- Maighany, F. and Ebrahimzadeh, H., 2002. Effect of salinity stress on proline metabolism in wheat. *Rostaniha*, 3, pp.87–94.
- Mbarki, S., Sytar, O., Cerda, A., Zivcak, M., Rastogi, A., He, X., Zoghalmi, A., Abdelly, C. and Brestic, M., 2018. Strategies to mitigate salt stress effects on photosynthesis. In *Salinity responses and tolerance in plants* (Vol. 1, pp.85–136). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4_4)
- Meriem, B.F., Kaouther, Z., Chérif, H., Tijani, M. and André, B., 2014. Effect of priming on coriander under salt stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10, pp.84–109.
- Mohamed, I.A., Shalby, N., Bai, C., Qin, M., Agami, R.A., Jie, K., Wang, B. and Zhou, G., 2020. Sodium chloride tolerance of *Brassica napus*. *Plants*, 9, 62. <https://doi.org/10.3390/plants9010062>
- Mohammadi Noori, H., Jafari, S. and Mirab-balou, M., 2023. Population fluctuation of thrips in bean farms. *Taxonomy and Biosystematics*, 14, pp.77–92. [In Persian].
- Morsali Aghajari, F., Darvishzadeh, R. and Razi, M., 2020. Sodium chloride stress in sunflower genotypes. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 8, 10–20.
- Narimani, T., Toorchi, M., Tarinejad, A., Mohammadi, S. and Mohammadi, H., 2020. Evaluation of barley under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22, pp.1009–1021.
- Noreen, Z. and Ashraf, M., 2009. Changes in antioxidant enzymes and some key metabolites in some genetically diverse cultivars of radish (*Raphanus sativus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 67, pp.395–402. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.05.011>
- Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A. and Adelusi, A.A., 2017. Pepper response to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 224, pp.198–205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020>
- Omae, H., Kumar, A., Egawa, Y., Kashiwaba, K. and Shono, M., 2005. Leaf water content and drought tolerance in snap bean. *Plant Production Science*, 8, pp.465–467. <https://doi.org/10.1626/ppls.8.465>
- Rahneshan, Z., Nasibi, F. and Moghadam, A.A., 2018. Salinity stress in pistachio rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13, pp.73–82. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1424355>
- Ramaswamy, A. and Seeta, R., 2018. Salinity stress on sunflower seedlings. *International Journal of Biological Research*, 3, pp.70–75.
- Ran, X., Wang, X., Huang, X., Ma, C., Liang, H. and Liu, B., 2022. Ion absorption in *Salix matsudana* under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 860111. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.860111>
- Reisi, R., Abooei Mehrizi, F. and Poustini, K., 2021. Bread wheat cultivars under salt stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52, pp.229–240. [In Persian].
- Saad-Allah, K.M., 2015. Sea salt stress in soybean cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6, pp.1559–1571.
- Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S. and Yildirim, E., 2018. Salinity and drought effects on cabbage. *Scientia Horticulturae*, 240, pp.196–204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.016>
- Saqib, A.A.N. and Whitney, P.J., 2011. DNS reagent behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 35, pp.4748–4750. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.09.013>

- Sarker, U. and Oba, S., 2020. Nutritional constituents of *Amaranthus hypochondriacus*. *Scientific Reports*, 10, pp.1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71714-3>
- Serrano, R., Mulet, J.M., Rios, G., Marquez, J.A., De Larrinoa, I.F., Leube, M.P., Mendizabal, I., Pascual-Ahuir, A., Proft, M. and Ros, R., 1999. Mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *Journal of Experimental Botany*, pp.1023–1036. [https://doi.org/10.1093/jxb/50.special\\_issue.1023](https://doi.org/10.1093/jxb/50.special_issue.1023)
- Shafeiee, M. and Ehsanzadeh, P., 2019. Salinity tolerance in fennel genotypes. *Industrial Crops and Products*, 132, pp.311–318. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.042>
- Shaheen, S., Naseer, S., Ashraf, M. and Akram, N. A., 2013. Salt stress in eggplant. *Journal of Plant Interactions*, 8, pp.85–96.
- Silambarasan, N. and Natarajan, S., 2014. Growth of halophytes under salinity. *International Letters of Natural Sciences*, 5. <https://doi.org/10.56431/p-hj3dzr>
- Singh, A., Singh, R. and Kumar, S., 2008. Salinity in maize genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*, 13, pp.95–99.
- Smirnoff, N., 1996. Function of ascorbic acid in plants. *Annals of Botany*, 78, pp.661–669. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0175>
- Smith, M.R., Veneklaas, E., Polania, J., Rao, I.M., Beebe, S.E. and Merchant, A., 2019. Drought impact on common bean yield. *PLoS ONE*, 14, e0217099. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217099>
- Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L.A., Ennajah, A., Belkhodja, M. and Mulet, J.M., 2016. Salt stress in *Phaseolus vulgaris*. *South African Journal of Botany*, 105, pp.306–312. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>
- Tavakoli, F., Vazan, S., Sorkheh, K. and Shakeri, E., 2016. Salinity stress in barley genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, 6, pp.191–202. [In Persian].
- Tejera, N., Soussi, M. and Lluch, C., 2006. Tolerance to salinity in chickpea. *Environmental and Experimental Botany*, 58, pp.17–24. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.007>
- Turan, M.A., Turkmen, N. and Taban, N., 2007. Effect of NaCl on lentil plants. *Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.3923/ja.2007.378.381>
- Uebersax, M.A., Cichy, K.A., Gomez, F.E., Porch, T.G., Heitholt, J., Osorno, J.M., Kamfwa, K., Snapp, S.S. and Bales, S., 2023. Dry beans as a vital component of sustainable agriculture. *Legume Science*, 5, e155. <https://doi.org/10.1002/leg3.155>
- Wang, X., Liu, H., Yu, F., Hu, B., Jia, Y., Sha, H. and Zhao, H., 2019. Antioxidant defence in rice under drought stress. *Scientific Reports*, 9, pp.1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44958-x>
- Zhao, K.F. and Harris, P., 1992. Effects of iso-osmotic salt and water stresses. *Journal of Plant Physiology*, 139, pp.761–763. [https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(11\)81725-6](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(11)81725-6)