Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (39-54)
DOI: 10.22059/ijfcs.2020.268356.654539

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص۵۴-۳۹)

بررسی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود کابلی (*Cicer ariethinum* L.) در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط هیدروپونیک

محمد کافی*[۱]، جعفر نباتی[۲]، احمد نظامی[۱]

۱-استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲- استادیار، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۷)

چکیده

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری نخود به‌منظور حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک در شرایط شور می‌تواند در ثبات عملکرد گیاهان زراعی مؤثر باشد. جهت بررسی تحمل به شوری ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی در مرحله گیاهچه‌ای در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم در شرایط هیدروپونیک، آزمایشی در سال ۱۳۹٦ در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که ۵۷ ژنوتیپ، از بقای بین ۱۰۰-۷٦ درصد برخوردار بودند و از بین آن‌ها، ۲٦ ژنوتیپ قادر به رشد تا بعد از مرحله گلدهی بودند. با کاهش درصد بقا، میانگین ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته کاهش یافت ولی میانگین درصد برگ باقی‌مانده از ۱۰۰ تا ۵۱ درصد تحت تأثیر تنش شوری تغییری نداشت و با کاهش بقا از ۵۰ درصد، میزان برگ باقی‌مانده کاهش و درصد برگ ریزش کرده افزایش یافت. شاخص پایداری غشا، از دامنه بقای بین ۱۰۰-۷٦ درصد تا دامنه بقا ۷۵-۵۱، ۵۰-۲٦ و ۲۵-۰ درصد، به‌ترتیب هشت، ۱۹ و ۲٦ درصد کاهش یافت. میانگین غلظت سدیم برگ تنها در دامنه بقای ۲۵-۰ درصد افزایش قابل‌توجهی پیدا کرد. غلظت پتاسیم برگ از دامنه بقای ۲۵-۰ درصد به ۵۰-۲٦، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷٦ درصد، به‌ترتیب ۳۰، ٦۵ درصد و ۱/۲۰ برابر افزایش یافت. میزان زیست‌توده از دامنه بقای ۲۵-۰ درصد به ۵۰- ۲٦، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷٦ درصد، به‌ترتیب ۰/٤۷، ۱/۱۲ و ۲/۷۸ برابر افزایش پیدا کرد. به‌طورکلی، تنوع قابل‌توجهی بین ژنوتیپ‌های موردبررسی ازنظر تحمل به شوری وجود داشت که می‌توان از آن‌ها در اصلاح برای تحمل به تنش شوری بهره جست.

واژه‌های کلیدی: برگ، بقا، پتاسیم، زیست‌توده، غشا.

Evaluation of salinity tolerance of kabuli-type chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) at seedling stage in hydroponic condition

Mohammad Kafi*[1], Jafar Nabati[2], Ahmad Nezami[1]

1. Faculty of Agriculture and Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, 2. Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

(Received: October 28, 2018- Accepted: November 18, 2019)

ABSTRACT

Identification of salinity tolerant chickpea genotypes, in order to increase soil fertility in saline conditions, can be effective on crop yield stability. This experiment was conducted in hydroponic conditions as a completely randomized design with three replications to evaluate salinity tolerance of 210 Kabuli-type chickpea genotypes during seedling stage at salinity level of 12 dS m^{-1} NaCl. Results indicated that 57 genotypes showed survival rate of 76-100%, of which 26 genotypes were in post-flowering stage. Plant height and number of lateral branches per plant decreased as survival rate decreased. Percentage of remained leaves was not affected in the survival range of 100-51%, while it decreased in lower survivals (<50%) range. Decreases in membrane stability index were about 8, 19 and 26% in survival ranges of 51-75, 26-50 and 0-25%, respectively compared to survival range of 76-100%. Significant increase in shoot Na^+ concentration was only found in survival range of 0-25%. 30, 60 percentage and 1.20 fold increase in K^+ concentration and 0.47, 1.12 and 2.78 fold increases in biomass was found in survival ranges of 26-50, 51-75 and 76-100% as compared to survival of 0-25%. Generally, considerable variations were found among chickpea genotypes according to salinity tolerance which could be used in breeding programs of improving salt tolerance in chickpea.

Keywords: Biomass, leaves, membrane, potassium, survival.

* Corresponding author E-mail: m.kafi@um.ac.ir

مقدمه

زراعت بقولات، به‌عنوان گیاهانی که بخش عمده‌ای از نیاز آبی آن‌ها توسط ریزش‌های آسمانی تأمین می‌شود، می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش حاصلخیزی خاک، به‌عنوان محصولات درآمدزا و تأمین کننده پروتئین مورد نیاز تغذیه انسان موردتوجه قرار گیرند. در این زمینه نخود (*Cicer ariethinum* L.) گیاهی نسبتاً مقاوم به خشکی است و در مناطق با بارندگی کم و نامناسب برای کشت سایر محصولات زراعی، می‌تواند عملکرد رضایت بخشی تولید کند (Zare Mehrjerdi *et al.,* 2013). علاوه بر آن نخود، به دلیل داشتن توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، بهبود حاصلخیزی خاک و برهم زدن چرخه آفت‌ها و بیماری‌های غلات در نظام‌های زراعی مناطق خشک و کم باران، از اهمیت زیادی برخوردار است (Siddique *et al*., 2011; Zawude and Shanko, 2017) و نقش مهمی در پایداری تولید ایفا می‌کند؛ با این وجود بقولات به‌ویژه نخود، به شوری خاک نسبتاً حساس هستند (Kafi *et al*., 2011; Zare Mehrjerdi *et al.*, 2013).

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی کاهش دهنده عملکرد گیاهان زراعی است (Jamil *et al*., 2011). هر ساله به دلایل گوناگونی نظیر کمبود بارندگی، تبخیر زیاد، آبیاری با آب شور و غیره، حدود ۱۰ درصد به وسعت اراضی شور افزوده می‌شود. تخمین زده شده است که تا سال ۲۰۵۰، بیش از ۵۰ درصد از اراضی زراعی شور خواهند شد (Jamil *et al*., 2011).

مطالعات نشان داده است که به‌گزینی ابتدایی تحمل به شوری در نخود، تنوع مفیدی نشان نداده است و ژنوتیپ‌ها، بیشتر از دو ماه نتوانستند زنده بمانند (Lauter and Munns, 1986; Johansen *et al.*, 1988). به‌علاوه برخی از پژوهشگران، شاهد وجود تنوع در ارتباط با تحمل به شوری در مراحل گوناگونی رشدی نخود بوده‌اند (Ashraf and Waheed, 1993). اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری، نیاز به درک سازوکارهای تحمل به شوری در هر مرحله رشدی و شناسایی و انتخاب صفات مرتبط با تحمل به شوری است (Flowers, and Flowers, 2005).

تحت شرایط تنش شوری، ممانعت از جوانه‌زنی می‌تواند تراکم بوته در واحد سطح را کاهش دهد و موجب کاهش عملکرد شود. کاهش تعداد و رشد گیاهچه‌های باقی‌مانده، دلایل اصلی افت عملکرد بقوله‌ها تحت تنش شوری است (Bruggeman *et al*., 2003).

Kafi *et al.* (2011) با مطالعه تأثیر تنش شوری بر برخی متغیرهای فیزیولوژیک ۱۱ ژنوتیپ نخود در محیط هیدروپونیک گزارش کردند که نخود، حساسیت بالایی به تنش شوری دارد و گزینش برای شوری می‌تواند به بهبود تحمل ژنوتیپ‌ها و درنتیجه گسترش کشت آن در مناطق بـا آب‌وخاک شور کمک کند. گزینش ۱۶۰ ژنوتیپ در غلظت شوری ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم (در محلول غذایی) نشان داد که همه ژنوتیپ‌ها حساس بودند و به‌جز یک ژنوتیپ (L-550، تمامی ژنوتیپ‌ها بعد از نه هفته از بین رفتند (Lauter, and Munns, 1986)؛ این حساسیت ممکن است در مراحل گوناگون رشدی متفاوت باشد. تولید ماده خشک در مرحله گیاهچه‌ای به‌ویژه در غلظت‌های بالای شوری (هشت دسی زیمنس بر متر)، بیشتر از مرحله جوانه‌زنی تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (Al-Mutata, 2003). در برخی از مطالعات، لاین‌هایی که در مرحله جوانه‌زنی متحمل نبودند، در مرحله گیاهچه‌ای واکنش خوبی نشان دادند (Kathira *et al*., 1997) و آن‌هایی که در مرحله گیاهچه‌ای حساس بودند، در مرحله رسیدگی متحمل شدند (Ashraf and Waheed, 1993). به‌نظر می‌رسد که تحمل به شوری در مراحل گوناگون رشد در بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت باشد.

پژوهشگران اظهار داشتند که تنش شوری، سبب کاهش وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی و نسبت ریشه به اندام هوایی در نخود شد (Garg and Singla, 2004). همچنین گزارش شده است که اعمال تنش شوری بر دو تیپ کابلی و دسی، سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشا، مقدار کلروفیل برگ، زیست‌توده گیاه و عملکرد دانه و در برابر، افزایش قندهای محلول در هر دو رقم و در دو مرحله (۴۰ و ۷۰

روز پس از کشت) شد و میزان این کاهش در تیپ دسی بیش از کابلی بود. همچنین تجمع یون سدیم در ریشه و نیز اندام‌های هوایی در تیپ دسی بالاتر بود که تأثیر منفی بر نسبت پتاسیم به سدیم داشت (Garg and Singla, 2009). در بررسی تأثیر پنج سطح تنش شوری (یک، سه، پنج، هفت و نه دسی زیمنس بر متر) روی نخود رقم آزاد مشخص شد که ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ نخود در سطح شوری نه دسی زیمنس بر متر، به‌ترتیب حدود ۴۴، ۸۴ و ۳۶ درصد کاهش نشان داد. همچنین در این سطح تنش، غلظت سدیم برگ افزایش و غلظت پتاسیم برگ کاهش یافت (Zare Mehrjerdi *et al.*, 2013).

در هند، نخود رقم CSG8962 متحمل به شوری برای مناطق شور معرفی شده است. این رقم از توده‌های بومی انتخاب شده است و رشد خوبی در خاک‌های لوم شنی با هدایت الکتریکی بین چهار تا شش دسی زیمنس بر متر دارد (Dua *et al*., 2000). در کشور ما، رقم‌های متحمل به شوری نخود برای زراعت در مناطق آب و هوایی گوناگون در دسترس نیست. رقم‌های متحمل به شوری می‌تواند مناطق زیر کشت نخود و همچنین میزان تولید آن را در خاک‌های دارای شوری متوسط افزایش دهد. در مناطق حاشیه‌ای دیم که خاک تحت تأثیر شوری قرار دارد، نخود در مقایسه با محصولاتی مانند برنج (*Oryza sativa* L.)، گندم (*Triticum aestiveum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.)، نیاز به نهاده‌های کمتری برای رشد دارد. با توجه به وجود بانک غنی از بذر ژنوتیپ‌های نخود ایران در پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، این آزمایش به‌منظور به‌گزینی برای تحمل به شوری تعدادی از ژنوتیپ‌های نخود کابلی بانک بذر در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط کنترل‌شده (هیدروپونیک) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شرایط هیدروپونیک (آب‌کشت) در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تعداد ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم (NaCl) مورد مطالعه قرار گرفتند. ابتدا بذرها در پتری‌دیش با استفاده از آب مقطر جوانه‌دار شدند و سپس در اردیبهشت‌ماه به محیط هیدروپونیک در گلخانه‌ای با دمای روز و شب، به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد و با دامنه تغییر ±پنج درجه تنظیم منتقل شدند. یک هفته پس از انتقال گیاهچه‌ها به محیط هیدروپونیک، تنش شوری اعمال شد. بستر مورد استفاده در این مطالعه ماسه (یک تا دو میلی‌متر) بود و تغذیه با استفاده از محلول غذایی هوگلند (Hoagland, and Arnon, 1950) صورت گرفت. سامانه تغذیه به‌صورت بسته اعمال شد و محلول غذایی به‌صورت هفتگی جایگزین و میزان شوری محلول غذایی به‌صورت روزانه پایش و تنظیم شد. با توجه به این‌که محلول هوگلند به‌واسطه دارا بودن عناصر غذایی، حدود دو دسی زیمنس بر متر هدایت الکتریکی ایجاد می‌کند (Kafi *et al*., 2011)، مجموع هدایت الکتریکی محلول غذایی و تیمار شوری، ۱۴ دسی زیمنس بر متر بود.

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، مرحله نموی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، درصد بقای بوته، درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، شاخص پایداری غشا (MSI) و محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی ثبت و اندازه‌گیری شدند.

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

$$S\% = (N_{4wt} \times 100)/ N_{Pt} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، S: درصد بقا، N_{4wt}: تعداد بوته چهار هفته بعد از تنش و N_{Pt}: تعداد بوته پیش از تنش است

بر اساس درصد بقا، ژنوتیپ‌های گوناگون به چهار گروه ۱۰۰-۷۶، ۷۵-۵۱، ۵۰- ۲۶ و ۲۵-۰ درصد بقا طبقه‌بندی شدند. در هر ژنوتیپ، تعداد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده سه بوته شمارش شدند و درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده محاسبه شد. پس از قرارگیری

در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای چهار درجه سانتی‌گراد، محتوای نسبی آب برگ در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته از طریق معادله (۲) محاسبه شد (Smart and Bingham, 1974).

معادله (۲) $W_c= ((W_w-D_w)/(T_w- D_w))\times100$

که در آن، W_c: محتوای نسبی آب برگ، W_w: وزن تر، D_w: وزن خشک و T_w: وزن تورژسانس است.

برای اندازه‌گیری میزان شاخص پایداری غشا، از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد و درون ویال‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیرشده قرار داده شد. سپس ویال‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند و در مرحله بعد، میزان نشت الکترولیت‌ها با استفاده از دستگاه رسانایی سنج الکتریکی مدل Jenway، اندازه‌گیری و به‌عنوان EC1 ثبت شد. به‌منظور تعیین میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، ویال‌ها به اتوکلاو با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر انتقال داده شدند و به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند و دوباره هدایت الکتریکی آن‌ها تحت عنوان EC2 اندازه‌گیری و ثبت شد. در ادامه، شاخص پایداری غشا با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد.

معادله (۳) $MSI= (1-(EC1/EC2)) \times 100$

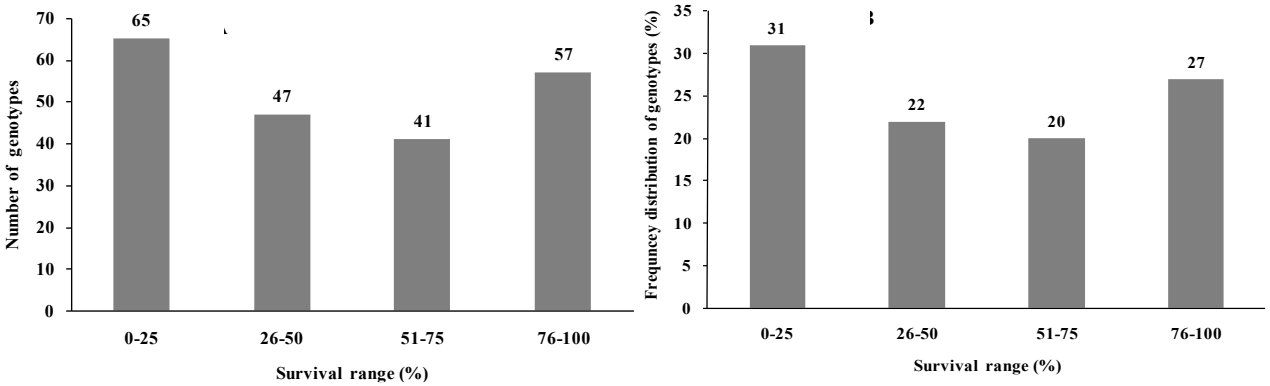
که در آن، MSI، شاخص پایداری غشا و EC: هدایت الکتریکی است.

با استفاده از ۲۵۰ میلی‌گرم نمونه خشک آسیاب شده که به مدت ۲۴ ساعت در اسید نیتریک غلیظ هضم و یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته بود، میزان سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم تعیین شد (Tandon, 1995).

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

نتایج و بحث

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، تفاوت معنی‌داری میان ژنوتیپ‌های گوناگون نخود کابلی از نظر درصد بقا وجود داشت (جدول ۱، جدول ۲، جدول ۳، جدول ۴). بررسی درصد فراوانی ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش شوری نشان داد که درصد بقای ۲۷ درصد از ژنوتیپ‌ها (۵۷ ژنوتیپ)، بین ۱۰۰-۷۶ درصد بود و ۳۱ درصد ژنوتیپ‌ها (۶۵ ژنوتیپ)، بقای ۲۵-۰ درصد داشتند (شکل ۱). در میان ژنوتیپ‌ها، ۱۳ ژنوتیپ دارای بقای ۱۰۰ درصد و ۲۳ ژنوتیپ پس از چهار هفته اعمال تنش شوری، به‌طورکلی نابود شدند (جدول ۱، جدول ۴). با توجه به این نتایج، به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر در محیط هیدروپونیک، تنوع قابل‌توجهی از دید تحمل به شوری در میان ژنوتیپ‌های نخود کابلی وجود دارد؛ اگرچه نباید از این نکته غافل شد که در شرایط هیدروپونیک، وجود عناصر غذایی می‌تواند میزان تحمل به شوری را در گیاهان افزایش دهد؛ بنابراین تحمل ۱۲ دسی زیمنس بر متر تنش شوری در این شرایط، لزوماً برابر با تحمل این سطح از تنش شوری در شرایط طبیعی نخواهد بود. از سوی دیگر، شوری اعمال‌شده در این بررسی، کلرید سدیم خالص بود که معمولاً در شرایط طبیعی، به‌ندرت شوری موجود در آب و خاک زراعی، از کلرید سدیم خالص است و معمولاً سایر عناصر مفید مانند پتاسیم در شرایط شور نیز همراه آب آبیاری است که در تعدیل اثرات تنش کارآمد است (Rasool *et al*., 2013). در مجموع و باوجود حساسیت بالای نخود به تنش شوری، وجود این تنوع در تحمل شوری می‌تواند امیدبخش باشد.



شکل ۱- تعداد (A) و درصد فراوانی نسبی (B) ژنوتیپ‌ها در دامنه‌های گوناگون بقا، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Figure 1. Number (A) and frequency (B) of chickpea genotypes in different survival range after four m^{-1} NaCl salinity. weeks of 12dS

بررسی مرحله نموی ژنوتیپ‌ها نشان داد که در دامنه بقای بین ۱۰۰-۷۶ درصد در سنجش با دیگر دامنه‌های بقا، ژنوتیپ‌های بیشتری در مراحل پیشرفته‌تر نموی بودند، به‌طوری‌که ۲۶ ژنوتیپ از ۵۷ ژنوتیپ موجود در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد، در مرحله رشدی پس از گلدهی قرار داشتند و در این میان، شش ژنوتیپ در مرحله آغاز غلاف دهی و غلاف دهی بودند (جدول ۱). بررسی مرحله نموی در سایر دامنه‌های درصد بقا نشان داد که از ۴۱ ژنوتیپ موجود در دامنه بقا ۷۵-۵۱ درصد، تنها نه ژنوتیپ و از ۴۷ ژنوتیپ موجود در دامنه بقا ۵۰-۲۶ درصد، تنها پنج ژنوتیپ در مرحله رشدی پس از گلدهی قرار داشتند و از ۶۵ ژنوتیپ موجود در دامنه بقا صفر تا ۲۵ درصد، هیچ‌یک از ژنوتیپ‌ها در مرحله رشدی پس از گلدهی نبودند (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). با توجه به اثر تجمعی شوری و درنهایت سمیت یونی، کاهش فصل رشد گیاه می‌تواند به‌عنوان یکی از فرآیندهای تحمل به شوری مدنظر قرار گیرد (Negrao *et al.*, 2017). این مطلب که گیاهانی مانند نخود، قادر به ممانعت از ورود سدیم به درون خود نمی‌باشند، به‌خوبی اثبات‌شده است (Ashraf and Waheed, 1993)؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی از نخود که قادر به مدیریت طول دوره رشد خود باشند، با کاهش طول دوره رشد در شرایط تنش شوری، مقدار کمتری از یون‌های سدیم و کلر در سیتوپلاسم آن‌ها تجمع می‌یابد و درنهایت، بقا و تولید بیشتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها که طول دوره رشد بیشتری دارند خواهند داشت.

استفاده از ژنوتیپ‌هایی با طول دوره رشدی کوتاه، می‌تواند در به‌نژادی تحمل به شوری مؤثر واقع شود. در این مطالعه، همبستگی مثبت و معنی‌داری (r^2=۰/۴۱**) بین درصد بقا و مرحله رشدی مشاهده شد. معمولاً تنش‌های محیطی موجب کاهش طول دوره رشدی در گیاهان می‌شوند (Munns and Tester, 2008). تجمع یون‌ها در سیتوپلاسم سلول گیاه، علاوه بر اثر سمیت و افزایش پتانسیل اسمزی، احتمالاً به‌عنوان نوعی پیام پیری در گیاه عمل می‌کند و گیاه را وادار به کوتاه کردن طول مراحل رشد و نمو می‌نماید (Allu *et al.*, 2014)؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که توانایی تحمل غلظت یون‌های بیشتری در سیتوپلاسم خود دارا باشند، با کوتاه کردن طول مراحل رشدی می‌توانند بقای خود را حفظ کنند، تمام مراحل رشدی را طی نمایند و عملکرد تولید کنند؛ همچنین می‌توان در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش تحمل به شوری از آن‌ها بهره برد (Allu *et al.*, 2014).

جدول ۱- تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم بر صفت‌ها در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۱۰۰ تا ۷۶ درصد.

Table 1. Effect of sodium chloride salt stress (12 dS m^{-1}) on chickpea genotypes traits in the 100% to 76% survival range.

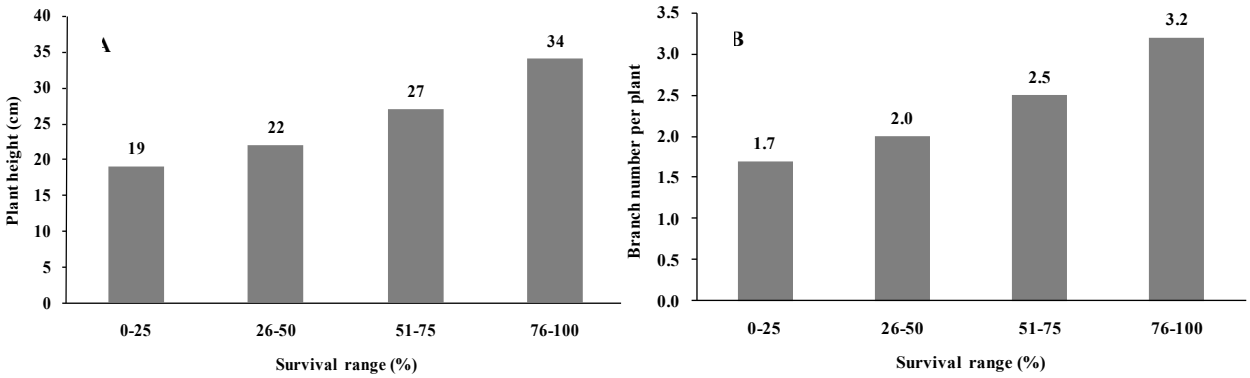
Genotype	Survival	Growth stage	Height Plant	Branch No. per plant	Remained leaves	Shedded leaves	RWC	MSI	Na content	K content	Na/K	Dry weight
MCC	(%)		(cm)		(%)	(%)	(%)	(%)	(mg. g^{-1}dw)	(mg .g^{-1}dw)		(mg. $plant^{-1}$)
12	100	2	39	3.33	51	49	73	49	16	54	0.30	776
13	100	1	40	4.00	43	57	74	42	22	49	0.45	545
17	100	1	30	2.67	36	64	69	22	21	51	0.42	479
27	100	1	47	3.00	70	30	69	14	14	46	0.31	1175
28	100	1	35	3.67	35	65	71	26	15	55	0.28	715
48	100	3	42	5.00	40	60	74	55	18	54	0.33	1283
53	100	1	51	3.67	64	36	80	69	10	61	0.17	1310
58	100	1	43	3.00	57	43	78	46	7	22	0.34	1301
60	100	1	36	1.67	63	37	75	62	14	55	0.25	1198
65	100	5	31	1.67	37	63	81	30	17	30	0.53	602
72	100	3	33	3.00	28	72	76	31	7	35	0.20	768
119	100	2	26	3.33	43	57	79	23	7	31	0.25	665
427	100	1	22	2.33	40	60	76	15	9	32	0.28	380
44	95	3	36	4.33	28	72	76	48	26	46	0.55	1086
26	94	5	42	2.67	33	67	71	19	9	5	1.88	951
30	94	4	36	3.00	41	59	73	28	22	63	0.35	797
47	94	3	45	3.67	24	76	78	50	18	51	0.34	790
54	94	1	51	5.33	46	54	79	31	17	57	0.30	1476
55	94	4	48	5.00	37	63	76	77	11	55	0.20	1166
90	94	1	21	4.00	36	64	61	16	11	31	0.37	428
415	94	3	29	2.33	42	58	76	7	9	33	0.27	614
6	90	3	42	4.00	59	41	72	63	14	56	0.24	1370
35	90	4	38	3.67	26	74	77	26	16	54	0.30	1200
36	90	3	34	3.67	36	64	69	33	19	53	0.35	853
42	90	3	40	4.33	31	69	81	45	21	45	0.48	912
57	90	1	46	4.00	35	65	76	47	19	60	0.31	1002
108	90	1	22	3.67	40	60	77	17	10	31	0.33	538
134	90	1	30	2.00	62	38	72	25	6	37	0.17	547
15	89	2	33	3.00	34	66	68	46	26	45	0.58	845
23	89	1	33	4.33	35	65	62	57	18	57	0.31	919
24	89	2	39	4.33	39	61	65	23	16	52	0.31	1018
33	89	1	45	4.00	47	53	72	63	14	54	0.27	1435
73	89	1	26	1.67	29	71	74	39	12	34	0.34	429
120	89	1	26	2.67	71	29	69	46	7	36	0.20	391
3	88	4	41	3.67	54	46	67	39	30	54	0.55	1073
114	88	1	29	2.67	70	30	74	42	7	37	0.20	654
66	86	1	29	0.67	33	67	64	13	11	42	0.24	283
41	85	3	37	3.00	25	75	81	50	22	53	0.41	801
190	85	1	26	4.33	44	56	73	28	6	33	0.18	607
52	84	1	42	3.33	29	71	78	50	15	54	0.28	1081
71	84	1	24	2.50	66	34	81	45	11	40	0.28	430
9	83	1	43	3.33	38	62	71	54	19	48	0.39	777
46	83	2	37	3.00	35	65	81	38	22	58	0.38	1284
161	83	1	24	4.67	28	72	71	23	7	37	0.18	739
578	83	1	6	1.00	33	67	69	38	27	18	1.45	7
21	82	2	44	3.00	46	54	70	47	16	66	0.24	1374
258	82	2	25	2.67	33	67	73	45	8	39	0.21	581
208	81	1	21	2.33	38	62	78	15	8	34	0.24	417
5	80	3	39	3.00	38	62	69	23	28	46	0.59	811
92	80	1	29	2.33	31	69	63	13	9	34	0.28	499
409	80	1	22	2.67	21	79	81	23	10	33	0.29	383
485	80	1	13	1.33	47	53	74	12	39	15	2.57	85
1	79	2	34	3.67	42	58	76	62	25	54	0.46	869
112	79	1	26	2.67	35	65	76	15	10	31	0.32	534
296	79	1	27	2.33	29	71	80	13	9	38	0.23	590
37	78	3	39	3.67	32	68	75	29	30	64	0.46	1002
31	76	2	39	3.00	35	65	75	20	31	56	0.55	634
$LSD_{0.05}$	4	0.02	6	1.36	23	23	15	19	3	5	0.16	127
P value	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01	0.01	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{*}	0.01^{**}
CV%	4	1	14	37	44	21	15	56	12	11	13	18

MCC: بانک بذر نخود مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. RWC: محتوای نسبی آب برگ، MSI: شاخص پایداری غشا، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. RWC: Relative Water Content, MSI: Membrane Stability Index, LSD: Least Significant Difference in $p \leq 0.05$ of probability level.

از نظر ارتفاع بوته، بین ژنوتیپ‌های نخود کابلی تحت تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). بررسی روند ارتفاع بوته در دامنه‌های بقا، تحت تنش شوری نشان داد که متوسط ارتفاع بوته با کاهش درصد بقا کاهش می‌یابد. این میزان کاهش به نحوی بود که متوسط ارتفاع بوته نسبت به دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد در دامنه بقاهای بین ۷۵-۵۱، ۵۰- ۲۶ و ۲۵-۰ درصد،

به‌ترتیب ۲۱، ۳۵ و ۴۴ درصد کاهش یافت (شکل A ۲). بررسی همبستگی ارتفاع بوته با سایر صفات نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این ویژگی با درصد بقا (r^2=۰/۶۲**) و مرحله رشدی (r^2=۰/۵۲**) وجود داشت (جدول ۵). افزایش ارتفاع بوته با افزایش درصد بقا و همچنین همبستگی مثبت بین ارتفاع بوته با مراحل رشدی می‌تواند بیانگر رشد بیشتر ژنوتیپ‌های متحمل به شوری باشد. به‌نظر می‌رسد که کاهش طول مراحل رشدی با کاهش ارتفاع بوته و میزان تولید همراه باشد، اما بر اساس این نتایج، ژنوتیپ‌های متحملی که در مراحل رشدی پیشرفته‌تری بودند، ارتفاع بوته و رشد بیشتری نیز داشته‌اند.



شکل ۲- ارتفاع بوته (A) و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته (B) در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه‌های مختلف بقا، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Figure 2. Plant height (A) and branch number per plant (B) of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS m^{-1} NaCl salinity.

بین ژنوتیپ‌های نخود، تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد شاخه فرعی در بوته تحت تنش شوری وجود داشت (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). با افزایش درصد بقا در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته افزایش یافت، به شکلی که تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، از دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد به ۵۰- ۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد، به‌ترتیب ۱۷، ۴۷ و ۸۸ درصد افزایش یافت (شکل B ۲). همبستگی تعداد شاخه‌های فرعی در بوته با درصد بقا بوته (r^2=۰/۴۶**)، مرحله رشدی (r^2=۰/۲۵**) و ارتفاع بوته (r^2=۰/۴۸**)، مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). هرچه بوته‌ها از ارتفاع بیشتر و مرحله رشدی پیشرفته‌تری برخوردار بودند تعداد شاخه‌های فرعی آن‌ها بیشتر بود. با توجه به این نتایج، ژنوتیپ‌هایی که قادر به حفظ درصد بقای بالاتری شده بودند، توسعه بیشتری پیدا کردند و از تعداد شاخه بیشتری برخوردار بودند.

به دلیل حرکت شیره خام از ریشه به سمت برگ و تبخیر آب از روزنه‌ها در شرایط تنش شوری، برگ گیاهان محل تجمع یون‌های گوناگون است (Munns and Tester, 2008)؛ بنابراین بقای برگ در شرایط تنش شوری می‌تواند از ویژگی‌های تحمل به شوری محسوب شود. بین ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی تحت تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری از نظر درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده مشاهده شد (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). به‌طور متوسط، درصد برگ باقی‌مانده با کاهش درصد بقا بوته از ۱۰۰ تا ۵۱ درصد، تحت تأثیر تنش شوری تغییری نداشت و با کاهش بقا از ۵۰ درصد، میزان برگ باقی‌مانده، کاهش و درصد برگ ریزش کرده افزایش یافت (شکل ۳). بررسی همبستگی بین صفت‌ها با درصد برگ باقی‌مانده نشان داد که این ویژگی با درصد بقا (r^2=۰/۴۶**)، ارتفاع بوته (r^2=۰/۲۹**) و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته (r^2=۰/۲۰**) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در شرایط تنش شوری، تجمع سدیم در برگ، اثرات سمی بر فعالیت‌های حیاتی گیاه دارد و مهم‌ترین علائم قابل دیدن، زرد شدن، سوختگی و درنهایت پیری و مرگ برگ‌ها است. این علائم در برگ‌های پیرتر به دلیل

تجمع بیشتر سدیم در آن‌ها بارزتر است (Negrao *et al*., 2017). وجود برگ سبز و زنده، تضمین بقای گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی است. ژنوتیپ‌هایی که از تعداد برگ بیشتری برخوردار باشند، قادر خواهند بود یون‌های سمی را به تعداد مخازن بیشتری تقسیم کنند و مدیریت تنش شوری را بهتر انجام دهند و زیست‌توده بیشتری تولید کنند (Negrao *et al*., 2017).

جدول ۲- تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم بر صفت‌ها در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۷۵ تا ۵۱ درصد.

Table 2. Effect of sodium chloride salt stress (12 dS m^{-1}) on chickpea genotypes traits in survival range of 75% to 51%.

Genotype	Survival	Growth stage	Height Plant	Branch No. per plant	Remained leaves	Shedded leaves	RWC	MSI	Na content	K content	Na/K	Dry weight
MCC	(%)		(cm)		(%)	(%)	(%)	(%)	(mg. g^{-1}dw)	(mg .g^{-1}dw)		(mg. $plant^{-1}$)
25	75	5	34	3.00	39	61	67	30	21	63	0.34	630
51	75	3	43	2.67	33	67	76	39	27	50	0.53	659
77	75	1	24	2.33	42	58	70	36	11	32	0.34	502
56	74	5	40	3.33	21	79	76	30	27	46	0.58	830
312	73	1	28	2.33	43	57	77	15	9	35	0.26	491
776	73	1	19	3.00	38	62	76	18	17	18	0.98	253
50	72	1	44	4.00	20	80	76	61	31	54	0.57	959
298	72	1	20	2.00	73	27	76	44	13	20	0.66	338
483	72	1	16	1.67	22	78	81	19	20	19	1.03	202
7	71	1	41	3.67	39	61	73	48	26	46	0.55	744
11	71	5	44	1.00	38	62	64	39	37	45	0.83	488
70	70	1	20	1.67	37	63	64	11	7	45	0.16	448
93	70	1	24	1.00	27	73	64	21	11	34	0.32	341
98	69	3	27	2.67	48	52	81	15	9	36	0.25	609
264	68	1	23	2.67	49	51	81	27	8	37	0.22	419
357	68	1	23	2.33	22	78	88	30	8	37	0.23	394
500	68	1	16	2.33	62	38	71	21	13	22	0.58	324
8	67	4	41	3.00	61	39	65	38	22	48	0.46	903
14	67	1	30	3.00	27	73	70	42	29	50	0.58	399
170	67	1	25	2.33	30	70	81	27	8	33	0.25	484
210	67	3	31	2.33	47	53	69	39	6	29	0.19	702
361	67	1	21	2.00	27	73	77	7	9	34	0.27	269
679	67	1	20	2.67	65	35	69	9	15	21	0.70	313
803	67	1	10	1.33	48	52	90	15	24	13	1.87	103
911	67	1	21	4.67	43	57	92	15	8	33	0.24	303
95	65	1	20	3.33	22	78	68	49	13	39	0.33	275
183	65	3	30	2.00	32	68	70	19	8	36	0.21	554
123	64	1	21	2.67	61	39	67	35	6	37	0.18	412
111	63	1	27	3.00	39	61	77	11	7	33	0.22	453
91	62	1	28	1.33	29	71	65	16	10	33	0.30	363
313	62	1	25	4.33	41	59	63	46	14	18	0.76	379
139	61	1	26	2.33	42	58	84	21	16	18	0.90	262
135	60	2	25	3.33	36	64	70	33	8	35	0.25	439
158	58	1	22	1.00	65	35	66	46	20	19	1.08	207
141	57	1	30	3.33	59	41	79	36	5	29	0.16	793
89	56	1	26	2.33	35	65	84	15	13	33	0.39	343
229	56	2	25	3.67	42	58	72	16	8	30	0.26	568
449	56	1	24	1.00	55	45	72	24	14	19	0.72	261
74	55	3	31	1.67	25	75	72	18	10	32	0.31	369
254	54	1	23	2.00	46	54	72	22	23	20	1.09	305
652	52	1	20	2.67	86	14	81	11	15	18	0.83	217
$LSD_{0.05}$	4	0.02	6	1.36	23	23	15	19	3	5	0.16	127
P value	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}	0.01^{**}
CV%	4	1	14	37	44	21	15	56	12	11	13	18

MCC: بانک بذر نخود مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. RWC: محتوای نسبی آب برگ، MSI: شاخص پایداری غشا، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. RWC: Relative Water Content, MSI: Membrane Stability Index, LSD: Least Significant Difference in $p \leq 0.05$ of probability level.

جدول ۳- اثر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۵۰ تا ۲۶ درصد.

Table 3. Effect of sodium chloride salt stress (12 dS m^{-1}) on chickpea genotypes traits in the survival range of 50% to 26%.

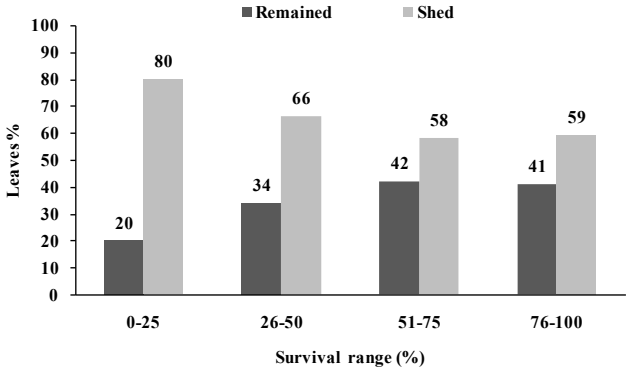
Genotype	Survival	Growth stage	Height Plant	Branch No. per plant	Remained leaves	Shedded leaves	RWC	MSI	Na content	K content	Na/K	Dry weight
MCC	(%)		(cm)		(%)	(%)	(%)	(%)	(mg .g^{-1}dw)	(mg. g^{-1}dw)		(mg. plant^{-1})
2	50	4	36	3.33	34	66	74	38	28	50	0.56	807
145	50	1	16	1.67	12	88	74	28	11	26	0.41	123
200	50	1	23	1.33	68	32	85	14	24	19	1.29	275
333	50	1	21	2.33	37	63	71	13	9	33	0.28	411
486	50	1	17	1.67	54	46	70	32	18	13	1.39	121
557	50	1	11	1.00	38	62	42	17	31	15	2.03	146
558	50	1	11	1.00	20	80	38	25	38	15	2.56	79
784	50	1	14	1.00	6	94	22	3	23	17	1.39	183
908	50	1	22	4.00	43	57	66	21	8	33	0.23	390
916	50	1	18	2.00	13	87	80	30	16	38	0.41	172
292	48	1	22	1.00	58	42	67	11	16	18	0.87	286
682	48	1	27	1.67	40	60	77	5	23	20	1.20	221
78	47	3	31	1.67	29	71	72	14	9	29	0.29	590
127	47	1	22	1.33	39	61	83	11	21	17	1.25	144
249	47	1	20	2.00	26	74	76	26	20	17	1.13	291
116	46	3	28	2.33	55	45	71	27	8	40	0.19	447
76	45	1	25	1.67	32	68	73	21	10	43	0.24	275
109	44	1	22	3.00	31	69	69	15	11	33	0.36	403
115	44	1	23	2.00	33	67	79	32	10	29	0.36	313
480	44	1	16	2.67	34	66	77	24	23	18	1.28	207
107	43	1	20	1.00	21	79	64	19	16	31	0.71	268
248	43	3	25	2.33	19	81	73	22	8	32	0.24	490
110	42	1	24	2.00	28	72	90	8	11	37	0.33	417
489	41	1	16	2.33	25	75	81	4	25	22	1.16	170
757	40	1	11	1.33	44	56	80	10	28	12	2.30	66
105	39	1	28	2.00	28	72	66	30	10	29	0.33	440
657	39	1	25	1.67	65	35	71	8	17	18	0.96	250
726	38	1	19	2.67	50	50	78	10	19	20	0.91	261
407	36	1	24	1.67	34	66	53	18	16	21	0.77	448
68	35	3	29	2.67	34	66	68	2	9	40	0.23	758
914	35	1	22	2.33	24	76	78	10	11	33	0.33	264
341	34	1	28	1.00	46	54	69	6	18	19	0.94	241
85	33	1	18	2.33	29	71	78	7	10	29	0.35	289
94	33	1	20	2.33	24	76	78	12	15	28	0.57	172
106	33	1	18	3.33	26	74	77	9	11	36	0.31	371
392	33	1	25	2.00	23	77	83	3	9	34	0.29	433
132	32	1	27	2.33	55	45	78	13	20	21	0.96	268
317	32	1	24	1.67	15	85	67	40	14	20	0.71	388
384	32	1	24	1.33	36	64	71	4	19	21	0.90	352
674	32	1	24	1.33	48	52	85	13	28	18	1.60	201
117	31	1	23	2.67	40	60	74	10	10	31	0.33	366
238	31	1	23	2.00	37	63	73	13	10	36	0.29	331
563	31	1	25	3.67	24	76	79	17	13	20	0.65	449
571	30	1	25	1.33	45	55	95	9	19	19	1.00	258
79	29	1	24	2.67	33	67	70	8	10	29	0.37	362
113	28	1	20	1.67	20	80	72	32	13	25	0.57	277
461	26	1	16	2.00	11	89	80	7	31	24	1.30	152
$LSD_{0.05}$	4	0.02	6	1.36	23	23	15	19	3	5	0.16	127
P value	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.0	0.0	0.01**	0.01**	0.01*	0.01**
CV%	4	1	14	37	44	21	15	56	12	11	13	18

MCC: بانک بذر نخود مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. RWC: محتوای نسبی آب برگ، MSI: شاخص پایداری غشا، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. RWC: Relative Water Content, MSI: Membrane Stability Index, LSD: Least Significant Difference in p≤0.05 of probability level

در این مطالعه مشخص شد که درصد برگ باقی‌مانده در درصد بقای بالا نیز کمتر از ۵۰ درصد بود که نشان‌دهنده تجمع یون‌های سمی در برگ بود که درنهایت موجب ریزش آن‌ها شد (شکل ۳). این مطلب خود نشان‌دهنده عدم وجود موانع فیزیولوژیک برای جلوگیری از ورود یون‌های سمی در گیاه نخود است؛ بنابراین وجود ژنوتیپ‌هایی که توانایی حفظ تعداد برگ بیشتری در شرایط تنش شوری داشته باشند، می‌تواند

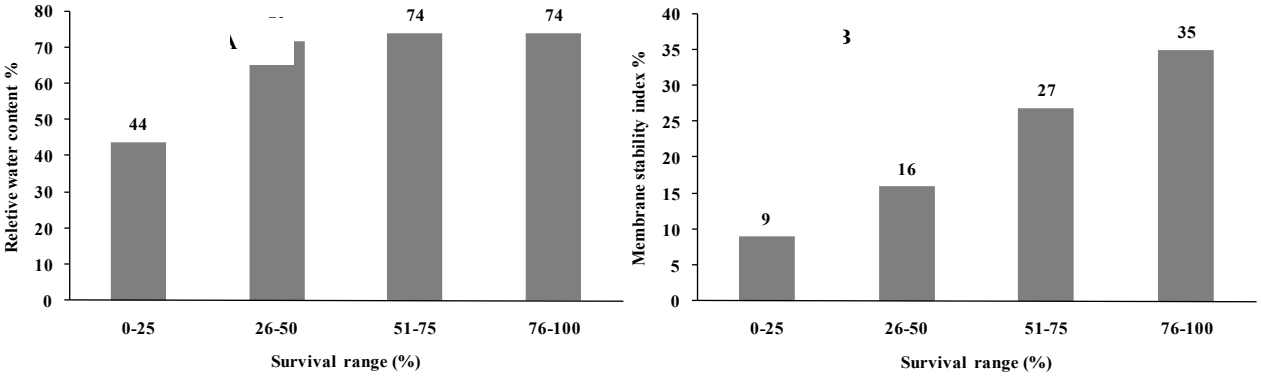
به پژوهشگران در به‌گزینی جهت تحمل به تنش شوری گیاه نخود کمک کند. در میان ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ MCC652، MCC289 و MCC27 به‌ترتیب با درصد بقا ۵۲ و ۸۶، ۷۲ و درصد برگ باقی‌مانده ۷۳، ۱۰۰ و ۷۰، بیشترین درصد برگ باقی‌مانده را دارا بودند (جدول‌های ۱ و ۲).



شکل ۳- درصد برگ باقی‌مانده و ریزش کرده در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه‌های مختلف بقا، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Figure 3. Remained and shedded leaves of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS m^{-1} NaCl salinity.

بررسی محتوای نسبی آب برگ نشان داد که بین ژنوتیپ‌های نخود کابلی، تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت وجود داشت (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). با وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های نخود بین دامنه‌های گوناگون درصد بقا در شرایط تنش شوری، تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای نسبی آب برگ وجود نداشت (شکل 4A). افزایش غلظت یون در واکوئل و سیتوپلاسم برگ، موجب جذب آب بیشتر و گوشتی شدن برگ در شرایط تنش شوری می‌شود (Munns and Tester, 2008). با توجه به این‌که اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش شوری با تجمع عناصر در برگ همراه است و گیاهان در شرایط شور، از نمک‌ها برای تنظیم اسمزی استفاده می‌کنند، جذب آب در برگ غوطه‌ور شده در آب مقطر، به حدی خواهد رسید که موجب ترکیدن سلول‌های دیواره غشا برگ می‌شود؛ بنابراین اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در شرایط شور به روش معمول، همواره با خطا همراه خواهد بود (Boyer *et al*., 2008; Negrao *et al*., 2017).



شکل ۴- درصد محتوای نسبی آب برگ (A) و شاخص پایداری غشا (B) در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه‌های گوناگون بقا، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Figure4. Relative water content (A) and membrane stability index (B) of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS m^{-1} NaCl salinity.

ازنظر شاخص پایداری غشا به‌عنوان یکی از معیارهای مهم گیاهان در شرایط تنش‌های غیرزنده محیطی، ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری، تفاوت معنی‌داری نشان دادند (جدول ۱، ۲، ۳ و ۴). پنج ژنوتیپ برتر ازنظر شاخص پایداری غشا شامل MCC53، MCC6، MCC33، MCC60 و MCC1 به‌ترتیب با درصد بقای ۱۰۰ و ۶۹، ۹۰ و ۶۳، ۸۹ و شاخص پایداری غشای ۶۳، ۱۰۰ و ۶۲، ۷۹ و ۶۲ درصد بودند که همگی آن‌ها در دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد بودند (جدول ۱). بررسی شاخص پایداری غشا در دامنه بقا نشان داد که با کاهش درصد بقای بوته در شرایط تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم، این ویژگی کاهش فراوانی پیدا کرد، به‌طوری‌که شاخص پایداری غشا از دامنه بقای ۱۰۰-۷۶ درصد تا دامنه‌های بقای ۷۵-۵۱، ۵۰- ۲۶ و ۲۵-۰ درصد، به‌ترتیب هشت، ۱۹ و ۲۶ درصد کاهش یافت (شکل B ۴). همبستگی بین شاخص پایداری غشا و درصد بقا ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی در شرایط تنش شوری، مثبت و معنی‌دار (r^2=۰/۵۹**) بود (جدول ۵). غشای سلول به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم و حیاتی گیاه در حفظ قابلیت نفوذ انتخابی، یکی از مکان‌های آسیب‌پذیر در شرایط تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش شوری محسوب می‌شود (Negrao *et al.*, 2017). در شرایط تنش شوری، تنش‌های دومی مانند تنش اکسیداتیو نیز بروز می‌کنند که تولید و تجمع رادیکال‌های فعال، به اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدهای غشای سلولی و درنتیجه مرگ سلول منجر می‌شود (Molassiotis *et al*., 2006). سامانه دفاع آنتی اکسیدانی در سلول‌های گیاهی شامل آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و گلوتاتیون ریدکتاز می‌شوند که به حذف این رادیکال‌های فعال منجر می‌شوند (Gunes *et al*., 2007). به‌طورکلی ژنوتیپ‌های متحمل، دارای ظرفیت بهتری جهت حفاظت خود در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری به‌واسطه نگهداری آنتی اکسیدان‌های بیشتر و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش دارند (Bandeoglu *et al*., 2004).

از عواملی که گیاهان در تحمل شوری تحت کنترل دارند، میزان یون‌های سدیم و پتاسیم است که به دلیل تبخیر و تعرق، از طریق جذب آب شور از بستر دریافت می‌کنند. غلظت سدیم اندام هوایی، تحت تأثیر معنی‌دار ژنوتیپ‌های گوناگون نخود کابلی قرار گرفت (جدول ۲، ۳، ۴ و ۵). بررسی غلظت یون سدیم در دامنه‌های درصد بقا در شرایط ۱۲ دسی زیمنس بر متر تنش شوری نشان داد که میزان سدیم، تنها در دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد افزایش قابل‌توجهی پیدا کرد و در سایر دامنه‌های بقا، غلظت سدیم در اندام هوایی تقریباً مشابه بود (شکل 5A). بین ژنوتیپ‌ها از نظر مقدار پتاسیم اندام هوایی نیز تفاوت معنی‌داری نشان وجود داشت (جدول ۱، ۲، ۳ و ۴). برخلاف سدیم، میزان پتاسیم اندام هوایی ژنوتیپ‌های نخود با افزایش درصد بقا در شرایط تنش شوری افزایش یافت، به‌طوری‌که غلظت پتاسیم اندام هوایی از دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد به ۵۰- ۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد، به‌ترتیب ۳۰، ۶۵ درصد و ۱/۲ برابر افزایش پیدا کرد (شکل A ۵). با توجه به نتایج حاصل و تغییرات جزئی میزان سدیم در دامنه‌های بقای ژنوتیپ‌های نخود در شرایط شور، عامل اصلی تغییرات نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در این مطالعه، افزایش میزان جذب پتاسیم در درصد بقای بالاتر بود (شکل B ۵). همبستگی بین صفات با میزان سدیم و پتاسیم نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری (r^2=۰/۲۸**) بین سدیم و درصد برگ ریزش کرده وجود داشت؛ بنابراین افزایش میزان سدیم در برگ، از عوامل خزان برگ‌های نخود در شرایط تنش شوری است. همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت سدیم و درصد بقا مشاهده شد (r^2=-۰/۳۴**). از طرف دیگر، پتاسیم با تمامی صفت‌ها به‌جز درصد برگ ریزش کرده، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). در شرایط تنش شوری، تلاش گیاهان به شکلی است که نسبت پتاسیم به سدیم در سیتوسول را به نفع پتاسیم تغییر دهد. این عمل به دلیل تنظیم بیان و فعالیت انتقال‌دهنده‌های یون سدیم و پتاسیم و پمپ‌های یون هیدروژن که نیروی لازم برای انتقال را تأمین می‌کنند، انجام می‌گیرد (Zhu, 2003).

جدول ۴- اثر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم بر صفت‌های ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۲۵ تا صفر درصد.

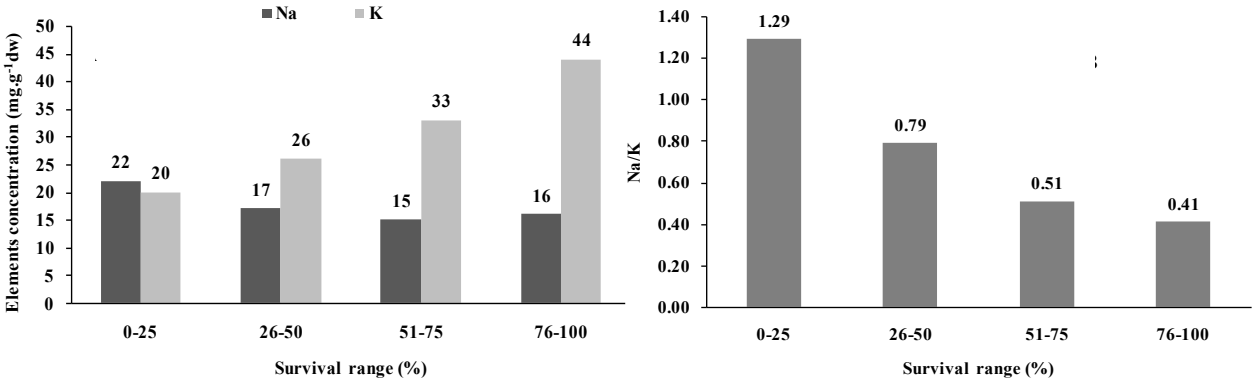
Table 4. Effect of sodium chloride salt stress (12 dS m^{-1}) on chickpea genotypes traits in the survival range of 25% to 0%.

Genotype	Survival	Growth stage	Height Plant	Branch No. per plant	Remained leaves	Shedded leaves	RWC	MSI	Na content	K content	Na/K	Dry weight
MCC	(%)		(cm)		(%)	(%)	(%)	(%)	(mg .g^{-1}dw)	(mg. g^{-1}dw)		(mg $plant^{-1}$)
118	25	1	15	1.33	28	72	74	13	13	31	0.49	225
169	25	1	15	1.33	53	47	95	14	23	22	1.06	112
228	25	1	16	1.67	19	81	69	24	21	17	1.24	159
301	25	1	20	1.67	28	72	80	30	20	16	1.26	211
334	25	1	27	2.00	34	66	76	7	8	38	0.19	385
442	25	1	20	1.00	57	43	54	15	22	20	1.08	125
457	25	1	16	2.67	41	59	70	35	22	24	0.93	193
464	25	1	14	2.00	35	65	79	5	31	23	1.37	126
717	23	1	20	1.00	45	55	78	14	23	19	1.21	191
699	22	1	26	1.33	57	43	70	9	20	20	0.97	225
848	22	1	14	3.67	39	61	60	27	22	21	1.02	264
836	21	1	27	3.00	38	62	65	9	15	19	0.83	438
494	20	1	11	1.67	20	80	65	13	22	21	1.08	155
572	20	1	21	1.33	50	50	80	7	21	19	1.12	229
97	19	1	26	2.00	29	71	74	6	12	31	0.39	281
185	19	1	21	2.00	45	55	70	23	6	37	0.18	264
244	19	1	25	2.00	21	79	79	11	8	36	0.22	501
367	19	1	20	2.33	43	57	54	8	28	15	1.92	174
175	18	1	22	1.67	45	55	65	12	18	18	1.01	201
86	17	1	24	3.00	24	76	84	19	12	35	0.34	288
245	17	1	23	2.33	17	83	80	12	9	33	0.28	370
481	17	1	12	1.67	34	66	89	17	25	22	1.14	135
651	17	1	24	2.00	33	67	61	23	25	18	1.46	243
402	15	1	22	1.00	37	63	83	4	20	20	1.02	199
227	14	1	17	1.33	33	67	64	6	29	18	1.61	154
490	14	1	13	2.33	9	91	76	29	24	18	1.39	255
126	13	1	20	4.00	27	73	74	5	16	19	0.83	187
691	13	1	20	2.00	43	57	85	7	26	20	1.28	286
815	13	1	18	1.33	14	86	76	8	18	19	0.91	256
588	13	1	18	1.75	0	100	0	6	34	19	1.86	69
225	11	1	22	1.33	28	72	72	38	26	17	1.53	230
822	11	1	18	2.67	16	84	57	8	21	19	1.11	254
330	9	1	21	1.33	24	76	64	15	27	20	1.32	195
453	8	1	26	1.33	21	79	72	9	26	19	1.38	240
832	8	1	15	1.33	17	83	0	2	29	19	1.53	348
279	7	1	24	1.00	20	80	85	16	21	23	0.93	246
329	7	1	18	1.00	23	77	28	7	27	15	1.84	176
665	7	1	21	1.67	39	61	70	15	18	19	0.97	231
226	6	1	17	2.33	7	93	63	20	25	20	1.28	239
842	6	1	25	3.33	18	82	58	4	20	19	1.06	508
281	4	1	20	2.00	6	94	0	0	17	16	1.05	181
75	3	1	27	1.33	9	91	67	14	22	20	1.05	279
152	0	1	21	1.00	0	100	0	0	19	19	0.99	440
163	0	1	20	4.00	45	55	75	22	7	35	0.19	386
224	0	1	19	1.00	0	100	0	0	29	13	2.28	191
253	0	1	11	1.00	0	100	0	0	33	13	2.45	91
257	0	1	13	1.33	0	100	0	0	28	16	1.77	130
270	0	1	11	1.00	0	100	0	0	33	12	2.64	17
274	0	1	14	1.00	0	100	0	0	32	16	1.95	67
278	0	1	24	1.00	0	100	0	0	26	21	1.28	260
286	0	1	19	1.00	0	100	0	0	22	20	1.12	127
289	0	1	20	1.00	0	100	0	0	20	20	0.98	476
315	0	1	18	4.00	0	100	0	0	20	14	1.46	59
326	0	1	18	1.00	0	100	0	0	31	18	1.67	180
352	0	1	21	2.00	0	100	0	0	26	17	1.52	68
478	0	1	13	1.67	0	100	0	0	42	13	3.26	43
479	0	1	22	1.00	0	100	0	0	33	21	1.59	178
526	0	1	10	1.00	0	100	0	0	20	22	0.91	50
559	0	1	8	1.00	0	100	0	8	22	7	3.08	43
698	0	1	20	1.00	0	100	0	0	18	6	3.04	44
810	0	1	6	1.67	0	100	0	0	20	14	1.42	148
814	0	1	4	1.00	0	100	0	0	20	16	1.25	48
820	0	1	14	1.00	0	100	0	0	24	18	1.34	255
827	0	1	16	1.00	0	100	0	0	32	20	1.65	68
834	0	1	20	2.00	0	100	0	0	24	21	1.14	322
$LSD_{0.05}$	4	0.02	6	1.36	23	23	15	19	3	5	0.16	127
P value	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.01*	0.01*	0.01**	0.01**	0.01	0.01**
CV%	4	1	14	37	44	21	15	56	12	11	13	18

MCC: بانک بذر نخود مشهد، مراحل رشدی: ۱: پیش از گلدهی، ۲: ابتدای گلدهی، ۳: گلدهی، ۴: ابتدای غلاف دهی، ۵: غلاف دهی. RWC: محتوای نسبی آب برگ، MSI: شاخص پایداری غشا، LSD: حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد.

MCC: Mashhad Chickpea Collection, Growth stages: 1: Before flowering, 2: Early flowering, 3: Flowering, 4: Early podding, 5: Podding. RWC: Relative Water Content, MSI: Membrane Stability Index, LSD: Least Significant Difference in $p \leq 0.05$ of probability level.

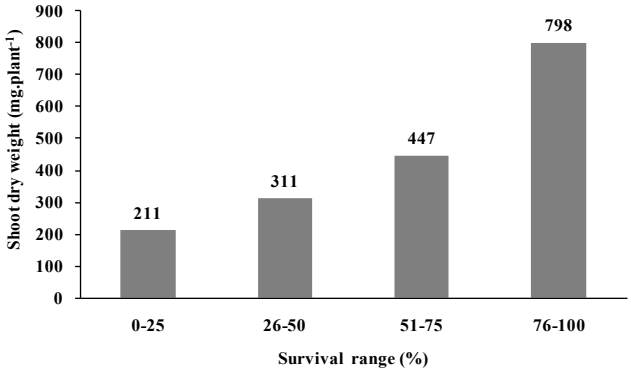
مطالعه میزان سدیم و پتاسیم در دو رقم گندم متحمل و نسبتاً متحمل به شوری نشان داد که با افزایش شدت تنش، میزان سدیم ورودی به رقم متحمل، کمتر از رقم نسبتاً متحمل بود. همچنین رقم متحمل به شوری گندم، از پتاسیم بالاتری برخوردار بود و افزایش شوری، سبب کاهش میزان پتاسیم شد (Sairam *et al*., 2002). در مطالعه حاضر، غلظت سدیم تا بقای بالای ۲۵ درصد، تقریباً مشابه بود، ولی در بقای کمتر از ۲۵ درصد، مقدار سدیم در اندام هوایی افزایش یافت، اما مقدار پتاسیم در آن دسته از ژنوتیپ‌های نخود که تحمل بیشتر و درصد بقای بالاتری داشتند، همواره بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود.



شکل ۵- غلظت سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی (A) و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم اندام‌های هوایی (B) در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه‌های مختلف بقا، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Figure 5- Na and K (A) and Na/K (B) concentrations of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS m^{-1} NaCl salinity.

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، بین زیست‌توده ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱، ۲، ۳ و ۴). بررسی میزان زیست‌توده تولیدی در دامنه‌های بقا تحت تأثیر تنش شوری نشان داد که با افزایش درصد بقا، زیست‌توده اندام هوایی افزایش یافت، به‌طوری‌که میزان زیست‌توده از دامنه بقای صفر تا ۲۵ درصد به ۵۰- ۲۶، ۷۵-۵۱ و ۱۰۰-۷۶ درصد، به‌ترتیب ۰/۴۷، ۱/۱۲ و ۲/۷۸ برابر افزایش یافت (شکل ۶).



شکل ۶- وزن اندام هوایی ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه‌های گوناگون بقا، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Figure 6. Shoot dry weight of chickpea genotypes in different survival range after four weeks of 12 dS m^{-1} NaCl salinity.

زیست‌توده تولیدی، برآیند تمامی فعالیت‌های گیاه در طول دوره رشد است. همبستگی بین صفت‌ها نشان داد که زیست‌توده اندام هوایی ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی در تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر، با صفاتی مانند درصد بقا، مرحله رشدی گیاه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، درصد برگ باقی‌مانده، محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشا و غلظت پتاسیم، همبستگی مثبت و معنی‌دار و با درصد برگ ریزش کرده و غلظت سدیم، همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۵). در میان ژنوتیپ‌ها، شش ژنوتیپ MCC54، MCC33، MCC21، MCC6، MCC53 و MCC58 به ترتیب با بقای ۹۴، ۸۹، ۸۲، ۹۰، ۱۰۰ و ۱۰۰، ژنوتیپ‌های برتر (زیست‌توده بالای ۱۳۰۰ میلی‌گرم در بوته) بودند (جدول ۱). در بین صفت‌ها، به‌ترتیب ارتفاع بوته (r^2=۰/۸۳**)، غلظت پتاسیم (r^2=۰/۷۷**) و درصد بقا (r^2=۰/۶۸**)، بیشترین همبستگی را با زیست‌توده داشتند (جدول ۵). در مطالعات گوناگون، ویژگی‌هایی مانند عملکرد، درصد بقا، ارتفاع بوته و میزان خسارت برگ، به‌عنوان معیاری عمومی برای گزینش ارقام متحمل به شوری مورد استفاده قرار گرفته است (Shannon, 1984; Gama *et al*., 2007). تنش شوری از طریق تنش اسمزی و تنش سمیت یونی، بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه تأثیر می‌گذارد و منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (Munns and Tester, 2008). مقادیر بالای نمک در بستر رشد، با ایجاد پتانسیل اسمزی، موجب کاهش میزان جذب آب توسط ریشه و در نتیجه کاهش پتانسیل آب در سلول‌ها می‌شود و درنهایت، گیاه با تنش آبی روبرو شود (Yoko *et al*., 2002; Munns and Tester, 2008). در نتیجه تنش اولیه ناشی از تنش شوری، تنش‌های ثانویه نظیر تنش اکسیداتیو نیز ممکن است بروز کنند که در این حالت، تولید گونه‌های اکسیژن فعال، منجر به اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدها و در نتیجه مرگ سلول می‌شود (Molassiotis *et al*., 2006). به‌طورکلی این فرآیندها، علاوه بر ایجاد خسارت در بافت‌های گیاهی، به کاهش کارایی فتوسنتز و متابولیسم کربن و در نتیجه کاهش قدرت تولیدی گیاه ختم می‌شود (Ferri *et al*., 2000; Garg and Singla, 2004). در مطالعه حاضر نیز بررسی ویژگی‌های رشدی و همچنین پایداری غشا و میزان غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم نشان داد که عوامل فیزیولوژیک با تأثیر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، درنهایت بر بقا و میزان تولید ژنوتیپ‌های نخود مؤثر بودند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفت‌های ۲۱۰ ژنوتیپ نخود کابلی تحت تأثیر تنش شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم.

Table 5. Correlation coefficients of 210 chickpea genotypes traits under 12 dS m^{-1} sodium chloride salt stress.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1
1	Survive	1											
2	Growth stage	0.41**	1										
3	Height Plant	0.62**	0.52**	1									
4	Branch No	0.46**	0.25**	0.48**	1								
5	Remained leaves	0.46**	0.08*	0.29**	0.20**	1							
6	Shedded leaves	-0.46**	-0.08*	-0.29**	-0.20**	-1.00**	1						
7	RWC	0.52**	0.15**	0.34**	0.30**	0.52**	-0.52**	1					
8	MSI	0.59**	0.29**	0.53**	0.40**	0.30**	-0.30**	0.37**	1				
9	Na	-0.14**	0.02ns	-0.17**	-0.24**	-0.28**	0.28**	-0.40**	-0.14**	1			
10	K	0.67**	0.45**	0.74**	0.52**	0.23**	-0.23**	0.37**	0.54**	-0.22**	1		
11	Na/K	-0.58**	-0.23**	-0.52**	-0.44**	-0.34**	0.34**	-0.56**	-0.39**	0.73**	-0.70**	1	
12	Dry weight	0.68**	0.50**	0.83**	0.56**	0.28**	-0.28**	0.31**	0.56**	-0.25**	0.77**	-0.56**	1

* و ** و ns: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

*, ** and ns: significant in 5%, and 1% of the probability levels and nonsignificant, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که گیاه نخود، مقاومتی در برابر ورود سدیم به درون اندام‌های هوایی خود ندارد، زیرا میزان سدیم موجود در اندام‌های هوایی در تمامی دامنه‌های بقا از نظر آماری مشابه بود؛ بنابراین تحمل به شوری در این گیاه باید در درون سلول‌ها و اندامک‌ها صورت گیرد. میزان یون پتاسیم موجود در ژنوتیپ‌هایی که درصد بقای بالاتری داشتند، بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود؛ بنابراین جای‌گذاری سدیم در واکوئل‌ها و افزایش غلظت پتاسیم در سیتوپلاسم سلولی، موجب حفظ پتانسیل اسمزی و کاهش اثرات سمیت یونی سدیم می‌شود که درنهایت اثرات منفی کمتری بر غشا سلولی و قابلیت نفوذ انتخابی آن وارد خواهد شد. همبستگی بالا و معنی‌دار بین شاخص پایداری غشا و غلظت پتاسیم نیز می‌تواند نشان دهنده این مطلب باشد. ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش شوری بتوانند کارکردهای طبیعی فیزیولوژیک خود را حفظ کنند، توانایی حفظ و گسترش سطح سبز بیشتری نیز خواهند داشت که درنهایت، به تولید زیست‌توده بیشتر منجر می‌شود. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه حاکی از این بود که ژنوتیپ‌های نخود کابلی در شرایط تنش شوری، واکنش‌های متفاوتی از خود بروز می‌دهند و تنوع قابل‌توجهی از نظر تحمل به شوری در آن‌ها مشاهده می‌شود که می‌توان از آن‌ها در اصلاح و گزینش برای تحمل به تنش شوری بهره جست.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این مطالعه، از محل طرح مصوب با کد ۳۹۹۵۵ در معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Allu, A. D., Soja, A. M., Wu, A., Szymanski, J. & Balazadeh, S. (2014). Salt stress and senescence: Identification of cross-talk regulatory components. *Journal of Experimental Botany*, 65 (14), 3993-4008.
2. Al-Mutata, M. (2003). Effec of salinity on germination and seedling growth of chickpea (*Cicer arientum*) genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5, 226-229.
3. Ashraf, M. & Waheed, A. (1993). Response of some genetically lines of chikpea (*Cicer arientum* L.) to salt. *Plant and Soil*, 154, 257-266.
4. Bandeoglu, E., Eyidogan, F., Yucel, M. & Oktem, H.A. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42, 69–77.
5. Boyer, J. S., James, R. A., Munns, R., Condon, T. A. & Passioura, J. B. (2008). Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat and barley. *Functional Plant Biology*, 35(11), 1172-1182.
6. Bruggeman, A., Hamdy, A., Touchan, H., Karajeh, F. & Oweis, T. (2003). Screening of some chickpea genotypes for salinity tolerance in a Mediterranean environment. Regional Action Programme (RAP): Water resources management and water saving in irrigated agriculture (WASIA PROJECT). *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, 44, 171-179.
7. Dua, R., Sharma, S. & Singh, S. (2000). Genetic options in managing salinity- alkalinity for pulse production. In: *Advances in National Sympoisum on Management of Biotic and Abiotic Stresses in Pulse Crops*. 26-28 Oct., 1998, Kanpur (eds. M. Ali et al.,), Indian Society of Pulese Research and Development, Kanpur, India, pp. 43-48.
8. Ferri, A., Lluch, C. & Ocana, A. (2000). Effect of salt stress on carbon metabolism and bacteroid respiration in root nodules of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Biology*, 2, 396-402.
9. Flowers, T. J. & Flowers, S. A. (2005). Why does salinity pose such a different problem for plant breeders? *Agriculture Water Management,* 78, 15-24.
10. Gama, P. B., Inanaga, S., Tanaka, K. & Nakazawa, R. (2007). Physiological response of common bean (*Phaseolus Vulg.* L.) seedlings to salinity stress. *African Journal of Biotechnology*, 6, 79-88.
11. 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, 57-63.
12. Garg, N., & Singla, R. (2004). Growth, photosynthesis, nodule nitrogen and carbon fixation in the chickpea cultivars under salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16, 137-146.

13. Gunes, A., Inal, A., Bagci, E. G. & Pilbeam, D. J. (2007). Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic- B toxic soil. *Plant Soil,* 290, 103-114.
14. Hoagland, D. R. & Arnon, D. L. (1950). The water culture method for growing plants without soil . *California Agricultural Experiment Station Circular*. pp. 347.
15. Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2011). Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5), 435–458.
16. Johansen, C., Saxena, N. P., Chauhan, Y. S., Rao, G. V. S., Pundir, R. P. S., Rao, J. V. D. K. K. & Jana, M. K. (1988). Genotypic variation in salinity response of chickpea and pigeonpea. In: *Proceedings of the International Congress of Plant Physiology,* 15-20 February 1988, New Delhi, India.
17. Kafi, M., Bagheri, A., Nabati, J., Zare Mehrjerdi, M. & Masomi, A. (2011). Effect of salinity on some physiological variables of 11 chickpea genotypes under hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 1 (4), 55-70. (In Persian with English abstract).
18. Kathira, K., Nayagapara, D. R., Vaddoria, M. A. & Poshiya, K. V. (1997). Screening of chickpea genotypes for salinity tolerance during germination and earl seedling growth. *Gujarat Agricultural University Reserch Journal*, 22, 28-32.
19. Lauter, D. J. & Munns, D. N. (1986). Salt resistance of chickpea genotypes in solutions salinized with NaCl or Na_2SO_4. *Plant and Soil*, 95, 271-279.
20. Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G. & Therios, I. (2006). Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (*Malus domestica* Borkh). *Environmental and Experimental Botany*, 56, 54–62.
21. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*, 59, 651-681.
22. Negrão, S., Schmöckel, S. M. & Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119 (1), 1-11.
23. Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M. M., Siddiqi, T. O. & Ahmad, P. (2013). Salt stress: causes, types and responses of plants. In *Ecophysiology and Responses of Plants Under Salt Stress* (pp. 1-24). Springer, New York, NY.
24. Sairam, R. K., Veerabhadra Rao, K. & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
25. Shannon, M. (1984). Breeding, selection and the genetics of salt tolerance. In: R.C. Staples, G.H., Toenniessen, (Ed) *Salt Tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement*, Wiley, New York, pp. 300-308.
26. Siddique, K. H. M., Johansen, C., Turner, N. C., Jeuffroy, M. H., Hashem, A., Sakar, D., Gan, Y. & Alghamdi, S. S. (2011). Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 45–64.
27. Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology,* 53, 258–260.
28. Tandon, H. L. S. (1995). Methods of analysis of soils, plants, water and fertilizers. FDCO, New Delhi. P. 204.
29. Yoko, S., Bressan, R. A. & Hasegawa, P. M. (2002). Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Reports. 25–33.
30. Zare Mehrjerdi, M., Nabati, J., Massomi, A., Bagheri, A. & Kafi, M. (2013). Evaluation of tolerance to salinity based on root and shoot growth of 11 drought tolerant and sensitive chickpea genotypes at hydroponics conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 2(2), 83-96, (In Persian with English abstract).
31. Zawude, S. & Shanko, D. (2017). Effects of salinity stress on chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces during early growth stage. *International Journal of Scientific Reports*, 3(7), 214-219.