

## Effects of salinity stress on growth processes and survival of desi-type chickpea genotypes in hydroponic conditions

Jafar Nabati<sup>1\*</sup>, Zahra Nasiri<sup>2</sup>, Ahmad Nezami<sup>3</sup>, Mohammad Kafi<sup>3</sup> and Morteza Goldani<sup>4</sup>

1. Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 2,4. Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 3. Faculty of Agriculture and Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.  
(Received: December 15, 2020 - Accepted: February 21, 2021)

### ABSTRACT

To determine the salinity tolerance threshold of desi-type chickpea genotypes under controlled conditions, this study was conducted as split-plot based on complete randomized block design with three replications in 2019 at Ferdowsi University of Mashhad. Salinity at 3 levels (eight, 12 and 16dS m<sup>-1</sup>) as the main plots and 13 chickpea genotypes at sub-plots were the experimental treatments. At levels eight and 12dS m<sup>-1</sup> salinity, MCC606 and MCC643 genotypes had the highest survival percentage and at 16dS m<sup>-1</sup> salinity level, only MCC539, MCC606 and MCC658 genotypes survived. Relative water content (RWC), membrane stability index (MSI) and chlorophyll a concentration were decreased in all genotypes as salinity level increased. Among the genotypes, MCC606 had the highest values of RWC, MSI and carotenoids at levels 12 and 16dS m<sup>-1</sup> salinity. Proline content was increased in all genotypes as salinity level increased from 8 to 12dS m<sup>-1</sup>. Results of the cluster analysis indicated the superiority of MCC539, MCC658 and MCC606 compared to total mean in all parameters. Principal component analysis showed that the first component explained 64.49% of changes in DPPH, carotenoids, MSI and biomass in MCC539, MCC658 and MCC606 genotypes. Since this experiment was conducted in controlled conditions, field assessment of freezing tolerance of the superior genotypes is recommended to confirm the results of the present study.

**Keywords:** Cluster analysis, principal component analysis, proline, relative water content, survival.

### اثر تنش شوری بر فرآیندهای رشد و بقای ژنوتیپ‌های نخود دسی در شرایط هیدروپونیک

جعفر نباتی<sup>۱\*</sup>، زهرا نصیری<sup>۲</sup>، احمد نظامی<sup>۳</sup>، محمد کافی<sup>۳</sup> و مرتضی گلدانی<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه بقولات، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲- دانشجو و دانشیار، گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۳- استاد گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی و گروه بقولات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۳)

### چکیده

با هدف تعیین آستانه تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود تپ دسی در شرایط کنترل شده، این مطالعه به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تنش شوری (هشت، ۱۲ و ۱۶dS m<sup>-1</sup>) در کرت‌های اصلی و ۱۳ ژنوتیپ نخود در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در تنش هشت و ۱۲dS m<sup>-1</sup>، ژنوتیپ‌های MCC606 و MCC643 بیشترین درصد بقاء را دارا بودند و در شوری ۱۶dS m<sup>-1</sup>، تنها سه ژنوتیپ MCC539، MCC606 و MCC658 زنده ماندند. با افزایش تنش، محتوی نسبی آب (RWC)، شاخص پایداری غشاء (MSI) و کلروفیل a در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. ژنوتیپ MCC606 در سطوح شوری ۱۲ و ۱۶dS m<sup>-1</sup> بالاترین مقدار RWC و MSI و کاروتنوئیدها را دارا بود و با افزایش شوری از هشت به ۱۶dS m<sup>-1</sup>، پرولین در تمام ژنوتیپ‌ها افزایش یافت. در تمام سطوح شوری، بیشترین زیست‌توده به ژنوتیپ MCC606 تعلق داشت. نتایج تجزیه خوشه‌ای حاکی از برتری سه ژنوتیپ MCC539، MCC658 و MCC606 از نظر صفات مورد بررسی نسبت به میانگین کل بود. آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه اول، ۶۴/۴۹ درصد از تغییرات مربوط به مهار رایکال آزاد DPPH، کاروتنوئیدها، MSI و زیست‌توده در سه ژنوتیپ MCC539، MCC658 و MCC606 را توضیح می‌دهد. با توجه به گلخانه‌ای بودن این پژوهش، بررسی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های برتر در شرایط مزرعه در توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بقا، پرولین، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، محتوای نسبی آب برگ.

## مقدمه

گیاهان در معرض طیف وسیعی از تنش‌های محیطی مانند دمای بالا، سرما، خشکی و شوری هستند و تنش‌های زیستی، علت اصلی کاهش عملکرد بیش از ۵۰ درصد محصولات در سراسر جهان است (Rasool *et al.*, 2012). در این میان، افزایش شوری خاک یک تهدید جدی و جهانی برای تولید محصولات کشاورزی است. شوری بیش از یک میلیارد هکتار در بیش از ۱۰۰ کشور در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار داده است و این مقدار دائماً در حال افزایش است (FAO, 2016). به‌طورمعمول در مناطق شور، کشت گیاهان متحمل به شوری برای جلوگیری از کاهش عملکرد صورت می‌گیرد. با این وجود، تناوب ضعیفی در مناطق شور به دلیل محدودیت استفاده از گیاهان وجود دارد. استفاده از گیاهانی که قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن را دارند می‌تواند در این مناطق باعث بهبود شرایط رشد برای سایر گیاهان زراعی شود. در این راستا، نخود (*Cicer arietinum* L.) گیاهی است با نیازهای کودی کم، که حدود ۷۰ درصد نیتروژن موردنیاز خود را از تثبیت زیستی نیتروژن فراهم می‌کند و در تناوب با محصولات زراعی، اثرات سودمندی دارد (Siddique & Sedgley, 1986).

نخود به‌عنوان یک محصول دانه‌ای مهم و کم‌هزینه، در سیستم‌های زراعی مناطق نیمه‌خشک کشت می‌شود؛ مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات است و بیش از ۵۰ درصد از سطح زیر کشت ایران را به خود اختصاص می‌دهد و بیش از ۹۰ درصد آن به‌صورت دیم است (Iran Agriculture Statistics, 2018). متوسط عملکرد نخود در ایران با سطح زیر کشت معادل ۵۶۱ هزار هکتار و تولید ۳۰۰ هزار تن، حدود ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Iran Agriculture Statistics, 2018). این گیاه به خاطر قابلیت سازگاری با طیف وسیعی از شرایط محیطی و خاک از قبیل اراضی حاشیه‌ای، دارای اهمیت است. حدود ۲۴ تا ۳۴ درصد وزن دانه‌های حبوبات را پروتئین تشکیل می‌دهد که این میزان دو تا سه برابر پروتئین غلات و ۱۴ تا ۲۴ برابر بیشتر از پروتئین گیاهان غده‌ای است

(Dastorani *et al.*, 2017).

نخود معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک رشد می‌کند که خاک این مناطق، تحت تأثیر شوری قرار دارد و این گیاه به شوری خاک نسبتاً حساس است (Flowers *et al.*, 2010). به دنبال تنش شوری، تنش‌های ثانویه از جمله تنش اکسیداتیو نیز بروز می‌کنند که سبب تولید و تجمع رادیکال‌های فعال می‌شود که به اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدها و درنهایت مرگ سلول منتهی می‌شود (Molassiotis *et al.*, 2006). گیاه در پاسخ به تنش شوری، مکانیسم‌های فیزیولوژیک از جمله تجمع اسیدآمینو پرولین و همچنین افزایش در میزان مهار رادیکال‌های فعال را به‌منظور حفاظت اسمزی اتخاذ می‌کند. شوری ضمن تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد، بسیاری از فرآیندهای دخیل در رشد و نمو گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری با تأثیر بر جنبه‌های مختلف رشد موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش سطح برگ و میزان جذب نور و ظرفیت کل فتوسنتز می‌شود (Doraki *et al.*, 2016). به‌نظر می‌رسد که توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رشدی گیاه می‌تواند در درک عوامل محدودکننده رشد و تولیدمثل نخود در شرایط شوری کمک کند (Khan *et al.*, 2017).

در حقیقت، شناسایی ژنوتیپ‌هایی که دارای رشد مناسبی در شرایط شوری باشند، علاوه بر افزایش تولید محصول در شرایط تنش، می‌تواند در شناسایی مکانیسم‌های تحمل به تنش و همچنین به‌عنوان زیرساخت در جهت برنامه‌های به‌نژادی تأثیر چشم‌گیری داشته باشند (Munns & Tester, 2008). با وجود تنوع اندک بین ارقام نخود از نظر تحمل به شوری، مطالعات انجام گرفته حاکی از موفقیت در به‌گزینی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط شوری می‌باشد (Vadez *et al.*, 2007). با توجه به مطالب گفته شده و همچنین اهمیت نخود تیپ دسی در سبد غذایی جامعه، این مطالعه با هدف تعیین آستانه تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی در شرایط کنترل

در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. سبزه ژنوتیپ برتر نخود دسی در مطالعات مقدماتی به‌گزینی در شرایط شور انتخاب و از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند (جدول ۱).

شده انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت کرت‌های خرد شده و بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش و منشأ آن‌ها.

Table 1. Chickpea genotypes used in this experiment and their origins.

| No | Seed bank ID | Origin |
|----|--------------|--------|
| 1  | MCC16        | Iran   |
| 2  | MCC20        | Iran   |
| 3  | MCC32        | Iran   |
| 4  | MCC43        | Iran   |
| 5  | MCC59        | ICARDA |
| 6  | MCC122       | ICARDA |
| 7  | MCC430       | Iran   |
| 8  | MCC539       | Iran   |
| 9  | MCC606       | Iran   |
| 10 | MCC643       | Iran   |
| 11 | MCC658       | Iran   |
| 12 | MCC686       | Iran   |
| 13 | MCC870       | ICARDA |

MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد)

MCC: Mashhad Chickpea Collection

ماه به گلخانه منتقل شدند. سیستم کشت هیدروپونیک در این پژوهش شامل جعبه‌های ۶۰×۴۰ سانتی‌متری و هر جعبه شامل سه ژنوتیپ متفاوت بود. از هر ژنوتیپ، ۱۰ بذر جوانه‌دار شده با فاصله پنج سانتی‌متر کشت شد. در یک هفته اول، آبیاری با آب معمولی انجام شد و جهت تغذیه از محلول غذایی هوگلند استفاده شد (جدول ۲).

ابتدا بذرهای در آزمایشگاه در پتری دیش جوانه‌دار شدند و سپس به محیط گلخانه با دمای روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد و با دامنه تغییر  $\pm 5$  درجه سانتی‌گراد، انتقال یافتند. کشت در محیط ماسه انجام شد؛ به این منظور، از ماسه رودخانه‌ای که از الک دو میلی‌متری عبور کرده و کاملاً شسته شده بود، استفاده شد. بذرهای جوانه‌دار در انتهای فروردین

جدول ۲- مقدار و عناصر محلول هوگلند (برای تهیه ۱۰۰ لیتر)

Table 2. The amount and elements of Hoagland solution (100X)

| Element                         | Amount (g) | Element                          | Amount (g) |
|---------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| CaNO <sub>3</sub>               | 118        | ZnSO <sub>4</sub>                | 0.022      |
| MgSO <sub>4</sub>               | 43.9       | MnCl <sub>2</sub>                | 0.181      |
| KNO <sub>3</sub>                | 50.5       | Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> | 0.012      |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 8.0        | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>  | 6.8        |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>  | 0.286      | EDTA                             | 3.72       |
| CuSO <sub>4</sub>               | 0.0051     | FeSO <sub>4</sub>                | 2.78       |

فاصله یک هفته پس از انتقال گیاهان به محیط هیدروپونیک اعمال شد. در این مطالعه، برای تغذیه از سیستم بسته استفاده شد و محلول غذایی در بستر

از کلرید سدیم جهت تهیه سطوح مختلف شوری استفاده شد. بر اساس مطالعات مقدماتی، سه سطح (هشت، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) تنش شوری به

معادله (۳)  $RWC = ((W_w - W_d) / (W_t - W_d)) \times 100$  که در این معادله،  $W_w$ : وزن تر،  $W_d$ : وزن خشک و  $W_t$ : وزن تورژسانس می‌باشد.

اندازه‌گیری رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش *Dere et al.* (1998) انجام شد. برای این منظور، ۱۰۰ میلی‌گرم از برگ‌های جوان تازه کاملاً توسعه‌یافته برداشت شد و رنگ‌دانه‌ها با استفاده از اتانول ۹۶ درصد استخراج شدند. میزان جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰، ۴۴۸ و ۶۶۴ نانومتر انجام شد و غلظت کلروفیل‌های  $a$  و  $b$  و کاروتنوئیدها بر اساس معادله‌های ۴، ۵ و ۶ محاسبه شد:

$$Chla = 13.36 \times A_{664} - 5.19 \times A_{648} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$Chlb = 27.43 A_{648} - 8.12 A_{664} \quad \text{معادله (۵)}$$

$$C(x+c) = (1000 \times A_{470} - 2.13 \times Ca - 97.64 \times Cb) / 209 \quad \text{معادله (۶)}$$

در این معادلات،  $A$ : میزان جذب در طول موج‌های مربوط به رنگ‌دانه‌ها،  $Ca$ : میزان مقدار کلروفیل  $a$  به دست آمده از معادله ۴ و  $Cb$ : میزان مقدار کلروفیل  $b$  به دست آمده از معادله (۵) است.

میزان پرولین در بافت برگ بر اساس روش *Bates et al.* (1973) اندازه‌گیری و مقدار غلظت پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین تعیین شد. برای اندازه‌گیری مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)، میزان جذب در ۵۱۷ نانومتر پس از ۳۰ دقیقه تاریکی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (*Abe et al.*, 1998) و برای این منظور از منحنی استاندارد اسید آسکوربیک استفاده شد.

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری و زمانی که گیاهان در ابتدای مرحله گلدهی بودند، ارتفاع بوته ثبت شد و سپس بوته برداشت و وزن خشک گیاهان (۴۸ ساعت پس از قرار گرفتن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. برای برآورد همبستگی، تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش

به‌طور متناوب گردش می‌کرد و هر هفته با تعویض محلول هوگلند بر اساس سطح شوری مورد نظر، کلرید سدیم استفاده شد؛ میزان شوری هر روز با EC متر کنترل شد.

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری در ابتدای مرحله گلدهی، درصد بقا، شاخص پایداری غشا، محتوای نسبی آب برگ، غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، محتوای پرولین، مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH، ارتفاع بوته و زیست‌توده مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد بقای گیاهان ( $SU\%$ ) با شمارش تعداد بوته زنده قبل (B) و چهار هفته پس از اعمال تنش شوری (A) محاسبه شد (معادله ۱).

$$SU\% = \frac{A}{B} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا، از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها به ویال حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاه نگهداری شدند. سپس با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Jenway)، نشت الکترولیت‌ها اندازه‌گیری شد ( $EC1$ ). برای اندازه‌گیری کل نشت الکترولیت‌ها پس از مرگ سلول‌ها، نمونه‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در شرایط آزمایشگاه قرار گرفتند و هدایت الکتریکی نمونه‌ها دوباره ثبت شد ( $EC2$ ) و درصد نشت الکترولیت‌ها ( $EL$ ) محاسبه و شاخص پایداری غشا ( $Membrane Stability Index$ ) با استفاده از معادله (۲) به دست آمد (*Premachandra et al.*, 1991).

$$MSI = 100 - EL\% \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله،  $MSI$ : شاخص پایداری غشا و  $EL$ : درصد نشت الکترولیت‌ها است.

محتوای نسبی آب برگ ( $RWC$ ) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته، پس از توزین اولیه و ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر با توزین مجدد و سپس خشک کردن آن‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد از طریق معادله (۳) به دست آمد (*Smart & Bingham*, 1974).

بقا، نسبت به بیشترین درصد بقا بود (جدول ۳). با افزایش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، کمترین (MCC16، MCC43) و بیشترین (MCC122) میزان کاهش درصد بقا به ترتیب به میزان سه و ۴۹ درصد مشاهده شد (جدول ۳). با اعمال شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، تنها سه ژنوتیپ MCC539، MCC606 و MCC658 قادر به حفظ بقا خود بودند (جدول ۳). در هر سه سطح تنش شوری، ژنوتیپ MCC606 بیشترین بقا را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بود (جدول ۳).

ward و با نرم‌افزار JMP4 و برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار STATISTICA8 استفاده شد.

## نتایج و بحث

درصد بقا در ژنوتیپ‌های نخود دسی در فاصله چهار هفته پس از اعمال سطوح مختلف تنش شوری، حاکی از تفاوت معنی‌دار آن‌ها از نظر این ویژگی بود (جدول ۳). در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، دو ژنوتیپ MCC606 و MCC643 قادر به حفظ ۱۰۰ درصد بقا بودند؛ از سوی دیگر، کمترین درصد بقا به ژنوتیپ MCC868 تعلق داشت که با ۵۳ درصد کاهش

جدول ۳- اثر تنش شوری بر درصد بقا در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 3. Effect of salinity stress on survival percentage of chickpea desi genotypes

| Genotype | Survival (%)            |                          |                          |
|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | 8 (dS m <sup>-1</sup> ) | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) |
| MCC16    | 61 <sup>a-d</sup>       | 58 <sup>a-d</sup>        | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC20    | 67 <sup>a-d</sup>       | 61 <sup>a-d</sup>        | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC32    | 83 <sup>a-c</sup>       | 52 <sup>b-d</sup>        | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC43    | 62 <sup>a-d</sup>       | 59 <sup>a-d</sup>        | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC59    | 90 <sup>ab</sup>        | 46 <sup>cd</sup>         | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC122   | 86 <sup>a-c</sup>       | 37 <sup>de</sup>         | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC430   | 83 <sup>a-c</sup>       | 45 <sup>cd</sup>         | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC539   | 93 <sup>ab</sup>        | 59 <sup>a-d</sup>        | 31 <sup>de</sup>         |
| MCC606   | 100 <sup>a</sup>        | 90 <sup>ab</sup>         | 90 <sup>ab</sup>         |
| MCC643   | 100 <sup>a</sup>        | 72 <sup>a-d</sup>        | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC658   | 93 <sup>ab</sup>        | 59 <sup>a-d</sup>        | 47 <sup>cd</sup>         |
| MCC868   | 47 <sup>cd</sup>        | 30 <sup>de</sup>         | 0 <sup>e</sup>           |
| MCC870   | 64 <sup>a-d</sup>       | 55 <sup>b-d</sup>        | 0 <sup>e</sup>           |
|          | Salinity                | Genotype                 | Salinity×Genotype        |
| P value  | 0.001**                 | 0.001**                  | 0.001**                  |
| CV(%)    | 25                      |                          |                          |

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).

\*\* Significant at 1% of probability level, CV: Coefficient of variation. Means with at least one similar letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ) based on Duncan test. MCC: Mashhad Chickpea Collection.

مواد سازگار، تولید آنتی‌اکسیدانت و ... قادر به تخفیف اثرات ناشی از تنش و حفظ بقای خود در شرایط تنش می‌باشند (Kafi et al., 2011). در این مطالعه، در سطوح شوری هشت و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، تمامی ژنوتیپ‌ها قادر به حفظ بقا بودند، اما دامنه تغییرات ژنوتیپ‌ها از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود. به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌هایی همچون MCC539، MCC606 و MCC658 با دارا بودن بالاترین درصد بقا در سطوح شوری هشت و ۱۲ و ماندگاری در سطح شوری ۱۶

تنش شوری با تاثیرگذاری بر روابط آبی و یونی گیاه، استقرار و رشد گیاه را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. تجمع یون‌های سمی در داخل سلول‌های گیاه و همچنین آسیب وارد شده به غشای سلولی که ناشی از تنش اکسیداتیو می‌باشد، مرگ سلول‌ها و در نهایت کاهش رشد و مرگ گیاهچه‌های جوان را به همراه دارد (Kanawapee et al., 2012). به نظر می‌رسد که در شرایط تنش، ژنوتیپ‌های متحمل با راهکارهای متفاوتی همچون تجمع و خروج انتخابی یون‌ها، سنتز

۳۳ و ۳۹ درصد در ژنوتیپ‌های MCC606 و MCC870 مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین میزان کاهش به ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC643 و MCC539 با ۳۲ و یک درصد تعاق داشت (جدول ۴). در سطح تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، در میان سه ژنوتیپ که قادر به حفظ بقای خود بودند، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ MCC539 مشاهده شد (جدول ۴).

دسی‌زیمنس بر متر در گروه ژنوتیپ‌های متحملی باشند که موفق به رشد بهتر در شرایط تنش شوری شده‌اند.

بین ژنوتیپ‌های نخود دسی در سطوح مختلف تنش شوری از نظر محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش سطح تنش شوری در ژنوتیپ‌های نخود دسی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول ۳). در تنش شوری هشت و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب برگ به ترتیب با اختلاف

جدول ۴- اثر تنش شوری بر محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشا در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 4. Effect of salinity stress on relative water content (RWC) and membrane stability index (MSI) in chickpea desi genotypes

| Genotype | RWC (%)                 |                          |                          | MSI (%)                 |                          |                          |
|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | 8 (dS m <sup>-1</sup> ) | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) | 8 (dS m <sup>-1</sup> ) | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) |
| MCC16    | 56 <sup>a-c</sup>       | 25 <sup>g-j</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 44 <sup>ab</sup>        | 26 <sup>f-h</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC20    | 57 <sup>ab</sup>        | 40 <sup>a-i</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 45 <sup>ab</sup>        | 28 <sup>f-h</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC32    | 49 <sup>a-g</sup>       | 41 <sup>a-i</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 43 <sup>ab</sup>        | 29 <sup>f-g</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC43    | 29 <sup>b-i</sup>       | 20 <sup>h-j</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 23 <sup>g-j</sup>       | 15 <sup>l</sup>          | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC59    | 50 <sup>a-g</sup>       | 36 <sup>a-i</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 48 <sup>ab</sup>        | 32 <sup>c-g</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC122   | 40 <sup>a-i</sup>       | 27 <sup>c-j</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 47 <sup>ab</sup>        | 30 <sup>e-g</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC430   | 56 <sup>a-d</sup>       | 27 <sup>c-j</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 30 <sup>d-g</sup>       | 19 <sup>h-j</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC539   | 44 <sup>a-h</sup>       | 42 <sup>a-i</sup>        | 28 <sup>d-j</sup>        | 39 <sup>b-e</sup>       | 30 <sup>d-g</sup>        | 16 <sup>j</sup>          |
| MCC606   | 61 <sup>a</sup>         | 54 <sup>a-e</sup>        | 25 <sup>f-g</sup>        | 47 <sup>ab</sup>        | 40 <sup>b-c</sup>        | 15 <sup>f-i</sup>        |
| MCC643   | 57 <sup>ab</sup>        | 25 <sup>g-j</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 51 <sup>a</sup>         | 30 <sup>d-g</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC658   | 54 <sup>a-e</sup>       | 42 <sup>c-g</sup>        | 19 <sup>g-j</sup>        | 43 <sup>ab</sup>        | 33 <sup>c-f</sup>        | 28 <sup>f-g</sup>        |
| MCC868   | 53 <sup>a-f</sup>       | 40 <sup>a-i</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 39 <sup>b-d</sup>       | 29 <sup>f-g</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
| MCC870   | 28 <sup>c-j</sup>       | 15 <sup>i-j</sup>        | 0 <sup>j</sup>           | 32 <sup>f-i</sup>       | 26 <sup>f-h</sup>        | 0 <sup>k</sup>           |
|          | Salinity                | Genotype                 | Genotype×Salinity        | Salinity                | Genotype                 | Genotype×Salinity        |
| P value  | 0.001**                 | 0.001**                  | 0.001**                  | 0.001**                 | 0.001**                  | 0.001**                  |
| CV(%)    | 31                      |                          |                          | CV(%)                   | 11                       |                          |

\*\*معی دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).  
\*\* : Significant at 1% of probability level, CV: Coefficient of variation. Means with at least one similar letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ) based on Duncan test. MCC: Mashhad Chickpea Collection.

می‌تواند توان گیاه برای مقابله با اثرات تنش را کاهش دهد (Kafi *et al.*, 2011). گیاه برای مقابله با کاهش محتوای آب نسبی برگ، میزان مواد محلول خود را افزایش می‌دهد تا بتواند با کاهش پتانسیل آب در داخل سلول، آب بیشتری را جذب کند (Nabati *et al.*, 2015). در مطالعه حاضر، در تمامی سطوح تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ همه ژنوتیپ‌های نخود دسی تحت تأثیر قرار گرفت. با این وجود، تنوع خوبی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر این ویژگی مشاهده

محتوای نسبی آب برگ، یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی که نشان‌گر وضعیت آبی گیاه می‌باشد است (Kafi *et al.*, 2011; Doraki *et al.*, 2016; Dharam *et al.*, 2018). در واقع املاح در اطراف ریشه خاک افزایش پیدا می‌کند و این افزایش، کاهش انرژی آزاد آب را در پی دارد که کاهش قابلیت دسترسی آب برای گیاه کاهش یافته که منجر به کاهش توان گیاه در جذب آب می‌شود و در نهایت محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد که این خود

و معنی‌دار بین محتوای نسبی آب برگ با درصد بقا  
( $r=0.75^{**}$ ) بود (جدول ۵).

شد و ژنوتیپ MCC606 برتری قابل‌ملاحظه‌ای نسبت  
به سایر ژنوتیپ‌ها در تمامی سطوح تنش از خود نشان  
داد. بررسی همبستگی صفات نیز حاکی از رابطه مثبت

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های نخود دسی تحت تأثیر شوری

Table 5. Coefficient of correlations of measured traits of chickpea desi genotypes affected by salinity

| NO. | Parameters     | 1.     | 2.     | 3.     | 4.     | 5.     | 6.     | 7.     | 8.     | 9.     | 10.    | 11. |
|-----|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 1.  | Survival       | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| 2.  | RWC            | 0.75** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |     |
| 3.  | MSI            | 0.84** | 0.81** | 1      |        |        |        |        |        |        |        |     |
| 4.  | Chlorophyll a  | 0.63** | 0.57** | 0.56** | 1      |        |        |        |        |        |        |     |
| 5.  | Chlorophyll b  | 0.60** | 0.66** | 0.70** | 0.76** | 1      |        |        |        |        |        |     |
| 6.  | Carotenoids    | 0.65** | 0.56** | 0.54** | 0.79** | 0.61** | 1      |        |        |        |        |     |
| 7.  | Total pigments | 0.68** | 0.66** | 0.67** | 0.95** | 0.91** | 0.80** | 1      |        |        |        |     |
| 8.  | Proline        | 0.46** | 0.39** | 0.38** | 0.70** | 0.57** | 0.58** | 0.69** | 1      |        |        |     |
| 9.  | DPPH           | 0.65** | 0.62** | 0.63** | 0.71** | 0.66** | 0.65** | 0.74** | 0.51** | 1      |        |     |
| 10. | Plant height   | 0.79** | 0.79** | 0.79** | 0.69** | 0.70** | 0.69** | 0.75** | 0.51** | 0.79** | 1      |     |
| 11. | Biomass        | 0.75** | 0.65** | 0.68** | 0.46** | 0.38** | 0.62** | 0.50** | 0.37** | 0.40** | 0.64** | 1   |

\*\* : Significant at 1% of probability level.

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

همبستگی صفات، بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار  
شاخص پایداری غشا با درصد بقا ( $r=0.84^{**}$ ) و  
محتوای نسبی آب برگ ( $r=0.81^{**}$ ) بود (جدول ۵).  
ژنوتیپ‌هایی که قادر به حفظ محتوای نسبی آب برگ  
خود بودند، از شاخص پایداری غشا مناسب‌تری نیز  
برخوردار بودند. در این راستا، ژنوتیپ MCC606 با  
بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ، بیشترین  
پایداری غشا و بقا را در سطح تنش ۱۲ دسی‌زیمنس  
بر متر دارا بود (جدول ۴).

برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود، بیانگر  
تفاوت معنی‌دار از نظر غلظت کلروفیل a بود (جدول  
۶). در سطح تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر،  
بیشترین غلظت کلروفیل a در ژنوتیپ MCC32،  
MCC643 و MCC658 مشاهده شد (جدول ۶). با  
افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲  
دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین میزان  
افزایش در غلظت کلروفیل a، به ترتیب در ژنوتیپ  
MCC539 به میزان ۱/۲۰۹ میلی‌گرم در گرم ماده تر  
و ژنوتیپ MCC32 به میزان ۰/۰۱۱ میلی‌گرم در گرم  
ماده تر مشاهده شد (جدول ۶). در سطح شوری ۱۶  
دسی‌زیمنس بر متر و در میان ژنوتیپ‌های باقی‌مانده،  
بیشترین غلظت کلروفیل a در ژنوتیپ MCC606  
مشاهده شد (جدول ۶).

برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود  
مورد مطالعه از نظر شاخص پایداری غشا معنی‌دار بود  
(جدول ۳). در سطح تنش شوری هشت دسی‌زیمنس  
بر متر، ژنوتیپ MCC643 و پس از آن ژنوتیپ‌های  
MCC59، MCC122 و MCC606 بیشترین میزان  
پایداری غشا را دارا بودند (جدول ۴). در تنش شوری  
۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MCC606 برتری  
خود را در بین ژنوتیپ‌های برتر در سطح تنش هشت  
دسی‌زیمنس بر متر از نظر شاخص پایداری غشا حفظ  
کرد و بیشترین مقدار این ویژگی را به خود اختصاص  
داد (جدول ۴)، اما در سطح تنش شوری ۱۶  
دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MCC658 نسبت به دو  
ژنوتیپ زنده مانده (MCC606 و MCC539)، به ترتیب  
۱۲ و ۱۳ درصد شاخص پایداری غشای بالاتری داشت.  
با این وجود در این سطح از تنش، خسارت وارده به  
غشا، بسیار زیاد بود، به طوری که شاخص پایداری غشا  
در ژنوتیپ MCC658 به ۲۸ درصد رسید (جدول ۴).  
یکی از عوامل تخریب غشای سلولی، پسابیدگی سلول  
و تنش ثانویه اکسیداتیو است که با تولید رادیکال‌های  
آزاد، تخریب غشا را در پی دارد. از سوی دیگر،  
کاروتنوئیدها به عنوان سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی غیر  
آنزیمی می‌توانند صدمات ناشی از این تنش را کاهش  
دهند (Parida & Das, 2005). در این پژوهش، بررسی

تعلق داشت (جدول ۶). با افزایش سطح شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین میزان افزایش غلظت کلروفیل b مربوط در دو ژنوتیپ MCC870 و MCC658 به ترتیب با ۰/۵۷۹ و ۰/۵۶۷ میلی‌گرم در گرم ماده تر مشاهده شد و بیشترین میزان کاهش مربوط به MCC20 با ۰/۷۷۶ میلی‌گرم در گرم ماده تر بود (جدول ۶). دو ژنوتیپ MCC539 و MCC606 در هر سه سطح شوری، تغییرات بسیار کمی از نظر غلظت کلروفیل b نشان دادند (جدول ۶).

از نظر غلظت کلروفیل b، بین سطوح مختلف تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۶). با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت کلروفیل b در شش ژنوتیپ افزایش و پنج ژنوتیپ کاهش یافت و با افزایش سطح تنش شوری از ۱۲ به ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت کلروفیل b در ژنوتیپ‌های باقی‌مانده کاهش یافت (جدول ۶). در سطح تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل b به ترتیب به ژنوتیپ MCC20 و MCC870

جدول ۶- اثر تنش شوری بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل b در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 6. Effect of salinity stress on chlorophyll a and chlorophyll b in chickpea desi genotypes

| Genotype | Chlorophyll a (mg gFW <sup>-1</sup> ) |                          |                          | Chlorophyll b (mg gFW <sup>-1</sup> ) |                          |                          |
|----------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | 8 (dS.m <sup>-1</sup> )               | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) | 8 (dS m <sup>-1</sup> )               | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) |
| MCC16    | 0.800 <sup>e-i</sup>                  | 1.170 <sup>b-e</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.769 <sup>d-j</sup>                  | 0.766 <sup>d-j</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC20    | 0.294 <sup>jk</sup>                   | 0.903 <sup>c-i</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.407 <sup>a</sup>                    | 0.631 <sup>d-k</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC32    | 1.035 <sup>b-h</sup>                  | 1.047 <sup>b-h</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.997 <sup>b-d</sup>                  | 1.191 <sup>a-c</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC43    | 0.649 <sup>h-j</sup>                  | 0.690 <sup>f-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.499 <sup>h-k</sup>                  | 0.346 <sup>kl</sup>      | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC59    | 0.827 <sup>d-i</sup>                  | 1.089 <sup>b-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.441 <sup>i-k</sup>                  | 0.648 <sup>d-k</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC122   | 0.913 <sup>c-i</sup>                  | 1.245 <sup>b-d</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.812 <sup>e-i</sup>                  | 0.612 <sup>e-k</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC430   | 0.809 <sup>d-i</sup>                  | 1.307 <sup>bc</sup>      | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.547 <sup>g-k</sup>                  | 0.943 <sup>c-e</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC539   | 0.749 <sup>e-i</sup>                  | 1.958 <sup>a</sup>       | 1.118 <sup>b-f</sup>     | 0.610 <sup>e-k</sup>                  | 0.884 <sup>c-h</sup>     | 0.726 <sup>d-k</sup>     |
| MCC606   | 0.827 <sup>d-i</sup>                  | 1.271 <sup>bc</sup>      | 1.122 <sup>b-f</sup>     | 0.441 <sup>i-k</sup>                  | 0.685 <sup>d-k</sup>     | 0.659 <sup>d-k</sup>     |
| MCC643   | 1.051 <sup>b-h</sup>                  | 1.244 <sup>b-d</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.933 <sup>c-f</sup>                  | 0.556 <sup>f-k</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC658   | 1.127 <sup>b-f</sup>                  | 1.427 <sup>b</sup>       | 0.681 <sup>g-j</sup>     | 0.804 <sup>d-i</sup>                  | 1.371 <sup>ab</sup>      | 0.515 <sup>h-k</sup>     |
| MCC868   | 0.904 <sup>c-i</sup>                  | 1.093 <sup>b-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.927 <sup>c-g</sup>                  | 0.973 <sup>c-e</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       |
| MCC870   | 0.531 <sup>ij</sup>                   | 1.304 <sup>bc</sup>      | 0.000 <sup>k</sup>       | 0.390 <sup>jk</sup>                   | 0.970 <sup>se</sup>      | 0.000 <sup>l</sup>       |
|          | Salinity                              | Genotype                 | Genotype×Salinity        | Salinity                              | Genotype                 | Genotype×Salinity        |
| P value  | 0.001**                               | 0.001**                  | 0.001**                  | 0.001**                               | 0.001**                  | 0.001**                  |
| CV(%)    | 16                                    |                          |                          | CV(%)                                 | 19                       |                          |

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).

\*\* : Significant at 1% of probability level, CV: Coefficient of variation. Means with at least one similar letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ) based on Duncan test. MCC: Mashhad Chickpea Collection.

معنی‌دار برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود قرار گرفت (جدول ۷). با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ۱۰ ژنوتیپ افزایش و در سه ژنوتیپ کاهش یافت (جدول ۷). با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین میزان افزایش غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در دو ژنوتیپ MCC870 و MCC539 و بیشترین مقدار کاهش در ژنوتیپ MCC20 مشاهده شد (جدول ۷).

برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود از نظر میزان کاروتنوئیدها معنی‌دار بود (جدول ۷). با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین افزایش غلظت کاروتنوئیدها در ژنوتیپ MCC870 به میزان ۰/۲۴۵ میلی‌گرم در گرم ماده تر مشاهده شد (جدول ۷)؛ با این وجود، بالاترین غلظت کاروتنوئیدها در سطح تنش شوری هشت و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ MCC606 ثبت شد (جدول ۷). غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، تحت تأثیر



عدم تغییر و یا افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند در جهت افزایش تحمل به تنش مدنظر قرار گیرد، زیرا تنش شوری با کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، ظرفیت گیاه برای فتوسنتز و تولید را کاهش می‌دهد (Parida & Das, 2005; Dharamvir *et al.*, 2018).

مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، نقش مؤثری در توان فتوسنتزی گیاهان دارند و به همین دلیل، مستقیماً بر میزان و سرعت فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند (Nabati *et al.*, 2015). در مطالعه حاضر، تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های نخود دسی مورد مطالعه از نظر رنگدانه‌های فتوسنتزی در واکنش به افزایش سطح تنش شوری ملاحظه شد. به نظر می‌رسد که

جدول ۷- اثر تنش شوری بر محتوای کاروتنوئیدها و کل رنگدانه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 7. Effect of salinity stress on concentration of carotenoids and total pigments in chickpea desi genotypes

| Genotype | Carotenoids (mg gFW <sup>-1</sup> ) |                          |                          | Total pigments (mg gFW <sup>-1</sup> ) |                          |                          |
|----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
|          | 8 (dS m <sup>-1</sup> )             | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) | 8 (dS m <sup>-1</sup> )                | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) |
| MCC16    | 0.075 <sup>jk</sup>                 | 0.193 <sup>e-j</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.644 <sup>fj</sup>                    | 2.129 <sup>c-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC20    | 0.211 <sup>e-h</sup>                | 0.249 <sup>c-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.912 <sup>d-h</sup>                   | 1.782 <sup>e-i</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC32    | 0.162 <sup>fj</sup>                 | 0.168 <sup>fj</sup>      | 0.000 <sup>k</sup>       | 2.195 <sup>c-f</sup>                   | 2.406 <sup>c-e</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC43    | 0.145 <sup>fj</sup>                 | 0.158 <sup>fj</sup>      | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.293 <sup>h-j</sup>                   | 1.194 <sup>i-j</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC59    | 0.262 <sup>c-f</sup>                | 0.408 <sup>ab</sup>      | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.530 <sup>fj</sup>                    | 2.145 <sup>c-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC122   | 0.183 <sup>e-j</sup>                | 0.187 <sup>e-j</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.909 <sup>d-h</sup>                   | 2.044 <sup>c-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC430   | 0.145 <sup>fj</sup>                 | 0.219 <sup>d-h</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.502 <sup>g-j</sup>                   | 2.469 <sup>b-d</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC539   | 0.131 <sup>g-j</sup>                | 0.341 <sup>a-c</sup>     | 0.262 <sup>c-f</sup>     | 1.491 <sup>g-j</sup>                   | 3.183 <sup>a</sup>       | 2.107 <sup>c-g</sup>     |
| MCC606   | 0.409 <sup>ab</sup>                 | 0.436 <sup>a</sup>       | 0.190 <sup>o-j</sup>     | 1.676 <sup>fj</sup>                    | 2.392 <sup>c-e</sup>     | 1.971 <sup>c-h</sup>     |
| MCC643   | 0.181 <sup>f-g</sup>                | 0.262 <sup>c-f</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 2.165 <sup>c-g</sup>                   | 2.062 <sup>c-g</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC658   | 0.208 <sup>e-i</sup>                | 0.302 <sup>b-e</sup>     | 0.144 <sup>fj</sup>      | 2.138 <sup>c-j</sup>                   | 3.100 <sup>ab</sup>      | 1.340 <sup>h-j</sup>     |
| MCC868   | 0.127 <sup>h-j</sup>                | 0.124 <sup>h-j</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.957 <sup>c-h</sup>                   | 2.189 <sup>c-f</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
| MCC870   | 0.090 <sup>i-k</sup>                | 0.334 <sup>a-d</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       | 1.011 <sup>j</sup>                     | 2.608 <sup>a-c</sup>     | 0.000 <sup>k</sup>       |
|          | Salinity                            | Genotype                 | Genotype×Salinity        | Salinity                               | Genotype                 | Genotype×Salinity        |
| P value  | 0.001**                             | 0.001**                  | 0.001**                  | 0.001**                                | 0.001**                  | 0.001**                  |
| CV(%)    | 21                                  |                          |                          | CV(%)                                  | 13                       |                          |

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).

\*\* Significant at 1% of probability level, CV: Coefficient of variation. Means with at least one similar letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ) based on Duncan test. MCC: Mashhad Chickpea Collection.

نشان داد که ژنوتیپ‌هایی مانند MCC539، MCC606 و MCC658 که دارای بیشترین غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بودند، از درصد بقا، زیست‌توده و ارتفاع بیشتری در سطوح بالای تنش شوری برخوردار بودند. بررسی همبستگی بین صفات مورد مطالعه نیز نشان داد که بین درصد بقا و غلظت کلروفیل a ( $r=0/63^{**}$ )، b ( $r=0/60^{**}$ )، کاروتنوئیدها ( $r=0/65^{**}$ ) و کل رنگدانه‌های فتوسنتزی ( $r=0/68^{**}$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). از طرف دیگر، وراثت‌پذیری بالای صفات فتوسنتزی، سبب خواهد شد که میزان آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های متحمل بیشتر باشد و به دنبال آن، رشد و تولید بیشتری را به

افزایش تجمع کلرید سدیم در کلروپلاست گیاهان، کاهش میزان کلروفیل را از طریق شکستن کلروپلاست در پی دارد. ناپایداری کمپلکس پروتئین و لیپید در گیاهان حساس به شوری، با تأثیر بر تشکیل پلاستیدهای جدید کلروفیل و کاروتن‌ها، سبب کاهش فعالیت سیستم فتوسنتزی می‌شود (Sudhir & Murthy, 2004). مطالعات نشان می‌دهد که میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری در گیاهان حساس و متحمل متفاوت است و تنوع قابل‌ملاحظه‌ای بین گونه‌ها مشاهده می‌شود (Parida & Das, 2005; Dharamvir *et al.*, 2018). ارقامی که میزان نسبی کلروفیل بالاتری دارند، در شرایط تنش شوری، عملکرد بالاتری تولید می‌کنند. نتایج این آزمایش نیز

(جدول ۸).

گیاه در هنگام مواجهه با تنش شوری، افزایش در میزان پرولین را به‌عنوان اسمولیت سازگار به‌منظور تنظیم اسمزی انتخاب می‌کند (Meloni *et al.*, 2001). بررسی‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری، دارای غلظت پرولین بالاتری هستند که خود، افزایش تنظیم اسمزی را به همراه دارد و سبب کاهش تجمع سدیم در داخل سلول می‌شود. همچنین پرولین می‌تواند نقش مهمی در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌ها، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و تثبیت غشای سلول تحت تنش شوری داشته باشد (Prado *et al.*, 2000). در این راستا، بررسی نتایج همبستگی بین محتوای پرولین با محتوای نسبی آب برگ ( $r=0/39^{**}$ ) و شاخص پایداری غشا ( $r=0/38^{**}$ )، مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵).

خود اختصاص دهند. با این وجود، در مورد نقش تأثیرگذار رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در شرایط شوری و خشکی تردیدهایی وجود دارد (Mundree *et al.*, 2002; Lawson *et al.*, 2003).

غلظت پرولین در ژنوتیپ‌های نخود دسی، تحت تأثیر معنی‌دار سطوح تنش شوری قرار گرفت (جدول ۸). کمترین میزان پرولین در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در سه ژنوتیپ MCC430، MCC868 و MCC870 و بیشترین آن در دو ژنوتیپ MCC122 و MCC539 مشاهده شد (جدول ۸). با افزایش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین افزایش به ترتیب متعلق به ژنوتیپ MCC430 با  $7/8$  برابر افزایش و ژنوتیپ MCC20 با  $0/6$  درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۸). در سطح تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر و در میان ژنوتیپ‌های زنده مانده، ژنوتیپ MCC606 بیشترین میزان پرولین را دارا بود

جدول ۸- اثر تنش شوری بر محتوای پرولین و مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 8. Effect of salinity stress on proline content and DPPH in chickpea desi genotypes

| Genotype | Proline (mg gFW <sup>-1</sup> ) |                         |                          | (mg ascorbate gFW <sup>-1</sup> ) DPPH |                          |                          |
|----------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
|          | 8 (dS m <sup>-1</sup> )         | 8 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) | 8 (dS m <sup>-1</sup> )                | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) |
| MCC16    | 5.674 <sup>j1</sup>             | 12.329 <sup>e-i</sup>   | 0.000 <sup>l</sup>       | 1.219 <sup>b-f</sup>                   | 1.787 <sup>ab</sup>      | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC20    | 8.553 <sup>h-k</sup>            | 8.605 <sup>h-k</sup>    | 0.000 <sup>l</sup>       | 0.867 <sup>d-f</sup>                   | 1.366 <sup>a-d</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC32    | 7.141 <sup>i-k</sup>            | 18.420 <sup>b-d</sup>   | 0.000 <sup>l</sup>       | 1.331 <sup>a-e</sup>                   | 0.913 <sup>c-f</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC43    | 12.373 <sup>d-i</sup>           | 18.143 <sup>b-e</sup>   | 0.000 <sup>l</sup>       | 0.895 <sup>d-f</sup>                   | 1.313 <sup>a-e</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC59    | 5.53 <sup>kl</sup>              | 7.506 <sup>i-k</sup>    | 0.000 <sup>l</sup>       | 0.954 <sup>e-f</sup>                   | 1.915 <sup>a</sup>       | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC122   | 15.186 <sup>c-f</sup>           | 18.985 <sup>b-c</sup>   | 0.000 <sup>l</sup>       | 1.580 <sup>a-c</sup>                   | 1.037 <sup>c-f</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC430   | 4.120 <sup>kl</sup>             | 32.462 <sup>a</sup>     | 0.000 <sup>l</sup>       | 0.904 <sup>d-f</sup>                   | 0.688 <sup>e-f</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC539   | 15.675 <sup>b-f</sup>           | 21.455 <sup>b</sup>     | 4.959 <sup>kl</sup>      | 0.895 <sup>d-f</sup>                   | 1.015 <sup>c-f</sup>     | 0.625 <sup>f</sup>       |
| MCC606   | 11.742 <sup>fj</sup>            | 19.429 <sup>b-c</sup>   | 6.968 <sup>i-k</sup>     | 0.716 <sup>d-f</sup>                   | 1.007 <sup>c-f</sup>     | 0.979 <sup>c-f</sup>     |
| MCC643   | 5.311 <sup>kl</sup>             | 14.907 <sup>c-g</sup>   | 0.000 <sup>l</sup>       | 0.854 <sup>d-f</sup>                   | 1.123 <sup>b-f</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC658   | 7.481 <sup>i-k</sup>            | 14.062 <sup>c-h</sup>   | 5.131 <sup>kl</sup>      | 0.738 <sup>d-f</sup>                   | 1.007 <sup>c-f</sup>     | 0.870 <sup>d-f</sup>     |
| MCC868   | 4.181 <sup>fj</sup>             | 11.694                  | 0.000 <sup>l</sup>       | 1.188 <sup>b-f</sup>                   | 0.915 <sup>c-f</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
| MCC870   | 4.141 <sup>kl</sup>             | 8.846 <sup>g-k</sup>    | 0.000 <sup>l</sup>       | 0.954 <sup>e-f</sup>                   | 1.053 <sup>c-f</sup>     | 0.000 <sup>g</sup>       |
|          | Salinity                        | Genotype                | Salinity×Genotype        | Salinity                               | Genotype                 | Salinity×Genotype        |
| P value  | 0.001 <sup>**</sup>             | 0.001 <sup>**</sup>     | 0.001 <sup>**</sup>      | 0.001 <sup>**</sup>                    | 0.001 <sup>**</sup>      | 0.001 <sup>**</sup>      |
| CV(%)    | 19                              |                         |                          | CV(%)                                  | 24                       |                          |

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).

\*\* : Significant at 1% of probability leve, CV: Coefficient of variation. Means with at least one similar letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ) based on Duncan test. MCC: Mashhad Chickpea Collection.

مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH در ژنوتیپ MCC122 و کمترین آن در ژنوتیپ‌های MCC606 و MCC658 مشاهده شد (جدول ۸). با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، مهار

مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH، تحت تأثیر معنی‌دار برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود دسی قرار گرفت (جدول ۸). در سطح شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین میزان

تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر، دو ژنوتیپ MCC606 و MCC658 از کمترین مقدار مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH برخوردار بودند؛ از طرفی این دو ژنوتیپ از نظر درصد بقا، از سایر ژنوتیپها برتر بودند (جدول ۳). به نظر می‌رسد که ژنوتیپهای متحمل به تنش شوری قادرند از ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال جلوگیری کنند. نتایج همبستگی بین مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH با درصد بقا ( $r=0/65^{**}$ ) و شاخص پایداری غشا ( $r=0/63^{**}$ ) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵).

تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در ژنوتیپهای نخود دسی مورد مطالعه شد (جدول ۹). در سطح تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر، بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب به ژنوتیپهای MCC59 و MCC870 تعلق داشت (جدول ۹).

فعالیت رادیکال آزاد DPPH در چهار ژنوتیپ کاهش و در سایر ژنوتیپها افزایش یافت؛ در این میان بیشترین مقدار افزایش در ژنوتیپ MCC59 مشاهده شد (جدول ۸).

تجمع گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان تحت تنش شوری، سبب آسیب‌های اکسیداتیو به چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌شود و در نهایت مرگ گیاه را به همراه دارد (Molassiotis et al., 2006). سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاهان شامل آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی است که اندازه‌گیری میزان فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH در زمره آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی است. به نظر می‌رسد که گیاهان متحمل به شوری، توانایی افزایش میزان فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH را دارند (Bandeoglu et al., 2004). در این مطالعه و در سطح

جدول ۹- اثر تنش شوری بر ارتفاع بوته و زیست‌توده در ژنوتیپهای نخود دسی

Table 9- Effect of salinity stress on biomass and plant height in chickpea desi genotypes

| Genotype | Plant height (cm)       |                          |                          | Biomass (g plant <sup>-1</sup> ) |                          |                          |
|----------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | 8 (dS m <sup>-1</sup> ) | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) | 8 (dS m <sup>-1</sup> )          | 12 (dS m <sup>-1</sup> ) | 16 (dS m <sup>-1</sup> ) |
| MCC16    | 23 <sup>a-c</sup>       | 23 <sup>a-c</sup>        | 23 <sup>a-c</sup>        | 0.27 <sup>f-k</sup>              | 0.20 <sup>i-m</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC20    | 22 <sup>a-d</sup>       | 22 <sup>a-d</sup>        | 22 <sup>a-d</sup>        | 0.29 <sup>e-i</sup>              | 0.22 <sup>h-m</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC32    | 23 <sup>a-d</sup>       | 23 <sup>a-d</sup>        | 23 <sup>a-d</sup>        | 0.29 <sup>f-h</sup>              | 0.14 <sup>k-m</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC43    | 14 <sup>e-h</sup>       | 14 <sup>e-h</sup>        | 14 <sup>e-h</sup>        | 0.13 <sup>g-i</sup>              | 0.09 <sup>mn</sup>       | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC59    | 27 <sup>a</sup>         | 27 <sup>a</sup>          | 27 <sup>a</sup>          | 0.40 <sup>d-f</sup>              | 0.15 <sup>k-m</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC122   | 16 <sup>d-h</sup>       | 16 <sup>d-h</sup>        | 16 <sup>d-h</sup>        | 0.44 <sup>cd</sup>               | 0.34 <sup>d-h</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC430   | 14 <sup>f-h</sup>       | 14 <sup>f-h</sup>        | 14 <sup>f-h</sup>        | 0.26 <sup>g-l</sup>              | 0.10 <sup>mn</sup>       | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC539   | 18 <sup>b-g</sup>       | 18 <sup>b-g</sup>        | 18 <sup>b-g</sup>        | 0.54 <sup>bc</sup>               | 0.26 <sup>g-l</sup>      | 0.16 <sup>j-m</sup>      |
| MCC606   | 21 <sup>a-e</sup>       | 21 <sup>a-e</sup>        | 21 <sup>a-e</sup>        | 1.04 <sup>a</sup>                | 0.66 <sup>b</sup>        | 0.42 <sup>c-e</sup>      |
| MCC643   | 17 <sup>c-h</sup>       | 17 <sup>c-h</sup>        | 17 <sup>c-h</sup>        | 0.39 <sup>d-g</sup>              | 0.15 <sup>k-m</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC658   | 16 <sup>d-h</sup>       | 16 <sup>d-h</sup>        | 16 <sup>d-h</sup>        | 0.59 <sup>b</sup>                | 0.24 <sup>h-l</sup>      | 0.14 <sup>k-m</sup>      |
| MCC868   | 16 <sup>d-h</sup>       | 16 <sup>d-h</sup>        | 16 <sup>d-h</sup>        | 0.18 <sup>i-m</sup>              | 0.13 <sup>l-n</sup>      | 0.00 <sup>n</sup>        |
| MCC870   | 11 <sup>hi</sup>        | 11 <sup>hi</sup>         | 11 <sup>hi</sup>         | 0.15 <sup>k-m</sup>              | 0.09 <sup>mn</sup>       | 0.00 <sup>n</sup>        |
|          | Salinity                | Salinity                 | Salinity                 | Salinity                         | Genotype                 | Genotype×Salinity        |
| P value  | 0.001 <sup>**</sup>     | 0.001 <sup>**</sup>      | 0.001 <sup>**</sup>      | 0.001 <sup>**</sup>              | 0.001 <sup>**</sup>      | 0.001 <sup>**</sup>      |
| CV(%)    | 24                      |                          |                          | CV(%)                            | 16                       |                          |

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).

\*\*\*: Significant at 1% of probability level, CV: Coefficient of variation. Means with at least one similar letter are not significantly different ( $P \leq 0.05$ ) based on Duncan test. MCC: Mashhad Chickpea Collection.

ارتفاع نشان داد (جدول ۹). در میان سه ژنوتیپ باقی‌مانده در سطح تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین ارتفاع بوته در ژنوتیپ MCC606 ثبت شد (جدول ۹).

تنش شوری از طریق کاهش آب قابل جذب، ایجاد عدم

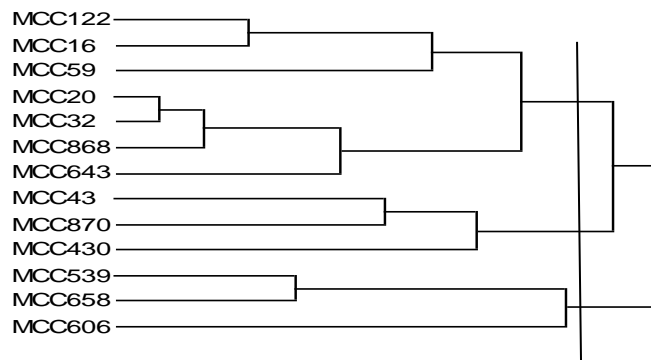
با افزایش سطح تنش شوری از هشت به ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، ژنوتیپ MCC16 بیشترین کاهش ارتفاع بوته (پنج سانتی‌متر) را دارا بود و ژنوتیپ MCC43 هیچ گونه کاهش ارتفاعی نداشت و از طرفی ژنوتیپ MCC606 یک سانتی متر افزایش

متعددی در زمینه تأثیر تنش شوری بر کاهش زیست‌توده در گیاه نخود وجود دارد ( Khani *et al.*, 2018). تنش شوری از طریق عواملی همچون کاهش دسترسی به آب، سمیت کلرید سدیم، کاهش جذب دی‌اکسید کربن که منبع اصلی انرژی به‌منظور فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد، کاهش در رشد و نمو گیاه و ممانعت از تجمع ماده خشک را به همراه دارد (Hirich *et al.*, 2014). بررسی همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد که زیست‌توده با تمامی صفات مورد مطالعه، رابطه مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). بهبود و حفظ فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه در شرایط تنش، موجب افزایش سطح تحمل به تنش شوری در ژنوتیپ‌های متحمل شد.

نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود دسی نشان‌دهنده قرارگیری آن‌ها در سه گروه مجزا بود. به ترتیب سه، سه و هفت ژنوتیپ در گروه‌های اول تا سوم قرار گرفتند (شکل ۱). مقایسه میانگین گروه‌ها با میانگین کل نشان داد که گروه اول از نظر تمام صفات مورد بررسی نسبت به میانگین کل برتری داشت. از طرفی ژنوتیپ‌های گروه دوم، تنها از نظر محتوای پروتئین نسبت به میانگین کل برتر بودند و در گروه سوم از نظر مهار رادیکال آزاد DPPH و ارتفاع بوته از میانگین کل برتر بودند که در تمامی این موارد، مقدار برتری گروه یک از میانگین کل بالاتر از سایر گروه‌ها بود (جدول ۱۰). بنابراین گروه یک شامل سه ژنوتیپ MCC539، MCC658 و MCC606، دارای تحمل بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در سطوح تنش شوری مورد مطالعه بودند.

تعادل در جذب عناصر غذایی و اثرات سمی برخی یون‌ها، سبب کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود. در واقع عدم تورژسانس مناسب سلول‌ها، تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی برای راهکارهای مقابله با تنش و کوتاه شدن دوره زندگی گیاه، سبب کاهش رشد و توسعه سلولی و در نهایت کاهش رشد گیاه و کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش شوری می‌شود ( Shahid *et al.*, 2012). ارتفاع بوته با تمامی صفات مورد بررسی، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت، به طوری که این همبستگی با کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (\*\* $r=0.75$ )، شاخص پایداری غشا (\*\* $r=0.79$ ) و محتوای نسبی آب برگ (\*\* $r=0.79$ ) بود (جدول ۵). این نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت پایداری غشا بر حفظ تورژسانس سلول‌ها و افزایش کارایی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت افزایش رشد و ارتفاع بوته در شرایط تنش شوری است.

زیست‌توده تولیدی در ژنوتیپ‌های نخود دسی که برآیند تمامی فعالیت‌های گیاه در طول دوره رشد است، تحت تأثیر معنی‌دار سطوح تنش شوری قرار گرفت (جدول ۹). در هر سه سطح شوری هشت، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین میزان زیست‌توده اندام هوایی در ژنوتیپ MCC606 مشاهده شد و کمترین میزان آن در دو سطح شوری هشت و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر متعلق به ژنوتیپ MCC870 تعلق داشت (جدول ۹). در سطح تنش شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، تنها سه ژنوتیپ قادر به حفظ بقا بودند که در این میان، ژنوتیپ MCC658 کمترین مقدار زیست‌توده را دارا بود (جدول ۹). مطالعات



شکل ۱- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود دسی بر اساس صفات مورد مطالعه تحت تنش شوری. : کلکسیون نخود مشهد

(بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد).

Figure 1. Cluster grouping of chickpea desi genotypes based on studied characteristic under salinity stress. MCC: Mashhad Chickpea Collection

جدول ۱۰- میانگین و انحراف از میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود دسی تحت تنش شوری

Table 10. Mean and deviation from mean of groups in cluster analysis of chickpea desi genotypes traits under salinity stress

| Genotypes                              | Group |           |       |           |       |                |
|--|-------|-----------|-------|-----------|-------|----------------|
|  | 1     |           | 2     |           | 3     |                |
| Traits                                 | Group | Deviation | Group | Deviation | Group | Deviation from |
| Survival %                             | 73.6  | 24.3      | 41.0  | -8.28     | 42.4  | -6.87          |
| RWC %                                  | 41.4  | 12.1      | 19.5  | -9.82     | 28.4  | -0.961         |
| MSI %                                  | 33.5  | 8.77      | 16.1  | -8.64     | 24.7  | -0.054         |
| Chlorophyll a (mg gFW <sup>-1</sup> )  | 1.14  | 0.394     | 0.588 | -0.161    | 0.648 | -0.100         |
| Chlorophyll b (mg gFW <sup>-1</sup> )  | 0.744 | 0.179     | 0.411 | -0.155    | 0.555 | -0.010         |
| Carotenoids (mg gFW <sup>-1</sup> )    | 0.269 | 0.107     | 0.121 | -0.040    | 0.133 | -0.029         |
| Total pigments (mg gFW <sup>-1</sup> ) | 2.16  | 0.680     | 1.12  | -0.356    | 1.337 | -0.139         |
| Proline (mg gFW <sup>-1</sup> )        | 11.9  | 3.39      | 8.90  | 0.411     | 6.86  | -1.63          |
| DPPH (mg ascorbate gFW <sup>-1</sup> ) | 0.872 | 0.085     | 0.645 | -0.142    | 0.812 | 0.024          |
| Plant height (cm)                      | 16.8  | 4.17      | 7.81  | -4.83     | 12.9  | 0.287          |
| Biomass (g plant <sup>-1</sup> )       | 0.450 | 0.234     | 0.091 | -0.125    | 0.170 | -0.047         |

MCC: Mashhad Chickpea Collection.

MCC: کلکسیون بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

می‌توان بعد پتانسیل تولید در شرایط تنش شوری نام نهاد، در حالی که مؤلفه دوم که توضیح دهنده پرولین، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ بود، ۱۲/۵۷ درصد از تغییرات را شامل می‌شد و نکته قابل توجه، درصد بقا بود که دقیقاً بین این دو مؤلفه قرار گرفت.

نتایج به دست آمده از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم بای پلات نشان داد که مؤلفه اول، ۶۴/۴۹ درصد از تغییرات مربوط به مهار رایکال آزاد DPPH، کاروتنوئیدها، شاخص پایداری غشا و زیست‌توده در تیمارهای تنش شوری هشت و ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر را توضیح می‌دهد (جدول ۱۱، شکل ۲)؛ بنابراین در شکل (۲)، بعد اول نمودار را

جدول ۱۱- سهم هر یک از متغیرها در دو مؤلفه برتر آزمون PCA برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های نخود دسی  
Table 11. Contribution of variables in the top two components of PCA test for variables measured in pea desi genotypes

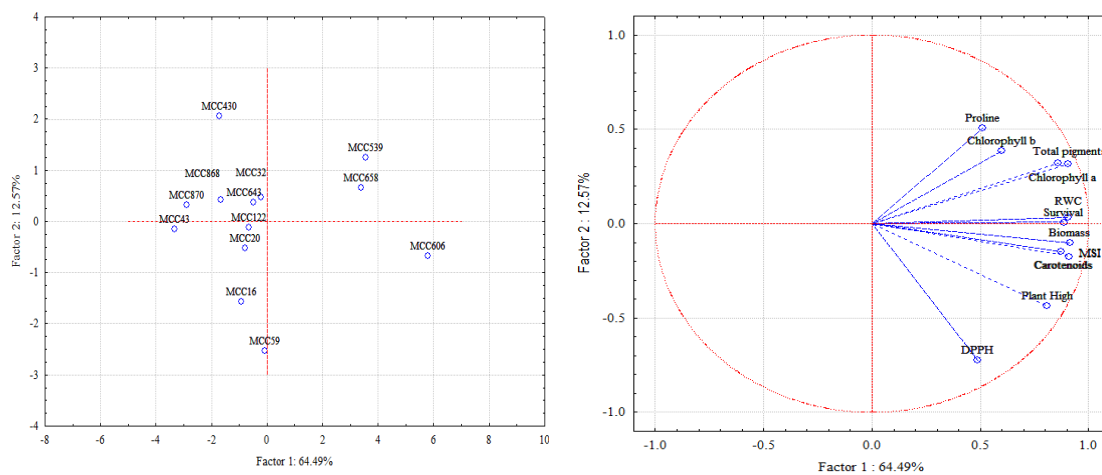
| Parameters                        | Factor |       |
|-----------------------------------|--------|-------|
|                                   | PCA 1  | PCA 2 |
| Proportion of total variation (%) | 64.49  | 12.57 |
| Survival                          | 0.89   | 0.01  |
| RWC                               | 0.91   | 0.03  |
| MSI                               | 0.91   | -0.17 |
| Chlorophyll a                     | 0.86   | 0.32  |
| Chlorophyll b                     | 0.60   | 0.39  |
| Carotenoids                       | 0.87   | -0.15 |
| Total pigments                    | 0.90   | 0.32  |
| Proline                           | 0.51   | 0.51  |
| DPPH                              | 0.49   | -0.72 |
| Plant height                      | 0.81   | -0.44 |
| Biomass                           | 0.91   | -0.10 |

به تنش شوری و بقا معرفی کرد. بر این اساس در این

بنابراین بعد دوم نمودار را می‌توان به عنوان بعد تحمل

درصد بقا برتری قابل ملاحظه‌ای در شرایط شور نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بودند. به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های متحمل با تولید ترکیب‌هایی مانند پرولین که نقش مهمی در ایجاد پتانسیل اسمزی و همچنین ویژگی آنتی‌اکسیدانی که دارد، موجب جذب آب و حفظ محتوای نسبی آب برگ شد و متعاقب آن فعالیت فتوسنتزی و تولید زیست‌توده این ژنوتیپ‌ها کمتر تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت.

آزمایش، ژنوتیپ MCC606 از پتانسیل تولید زیست‌توده خوبی هم در شرایط تنش برخوردار بود و هم از نظر مهار رایکال آزاد DPPH، کاروتنوئیدها و شاخص پایداری غشا نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. از طرفی دو ژنوتیپ MCC539 و MCC658 از نظر محتوای پرولین، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ دارای برتری بودند. هر سه ژنوتیپ MCC539، MCC658 و MCC606 از نظر



شکل ۲- نمودار بای‌پلات بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم با بیشترین توجیه واریانس داده‌ها.

Figure 2. Bioplate diagram based on the first and second components with the most justification of data variance.

قادر به حفظ بقای خود در سطح شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر بودند و در سطح تنش ۱۲ دسی زیمنس بر متر نیز از سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند. در میان ژنوتیپ‌های برتر، ژنوتیپ MCC606 در بیشتر صفات مورد مطالعه، برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. با توجه به این‌که این پژوهش در شرایط هیدروپونیک و کنترل شده انجام شد و از طرفی، مهم‌ترین ویژگی در انتخاب ژنوتیپ‌ها برای معرفی ارقام متحمل شوری در مزرعه، عملکرد دانه آن‌ها است، بررسی تحمل به شوری این ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه در توصیه می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج بیانگر وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های مختلف نخود دسی تحت تنش شوری بود. مطالعه برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک در ۱۳ ژنوتیپ نخود دسی در سطوح تنش شوری نشان داد که این گیاه دارای تنوع فراوانی از نظر پاسخ فرآیندهای فیزیولوژیک به تنش شوری است که این تنوع می‌تواند راه را برای اصلاح و گزینش رقم‌های متحمل به شوری هموار کند. با وجود این‌که در تمامی سطوح شوری مورد مطالعه، کاهش رشد و تولید زیست‌توده مشاهده شد، سه ژنوتیپ MCC606، MCC539 و MCC658

## REFERENCES

1. Abe, N., Murata, T. & Hirota, A. (1998). Novel DPPH radical scavengers, bisorbicillinol and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 62, 661-666.
2. Iran Agriculture Statistics. (2018). Volume I: Crops. Ministry of Jihad-e-Agriculture Iran.
3. Bandoğlu, E., Eyidoğan, F., Yücel M. & Öktem, H. A. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42, 69-77.

4. Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
5. Dastorani, S., Shahsavani, S. & Gharanjik, S. (2017). The effect of *Mecorizobium*, *Thiobacillus* and sulfur bacteria on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameters. *Iranian Journal of Pulses Research*, 9, 81-99. (In Persian)
6. Dere, S., Gines, T. & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22, 13-17.
7. Dharamvir, A., Kumar, N. & Kumar, M. (2018). Physiological Responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to salinity stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2380-2388
8. Doraki, G. R., Zamani, G. R. & Sayyari, M. H. (2016). Effect of salt stress on physiological traits and antioxidant enzymes activity of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Azad). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14, 470-483. (In Persian)
9. FAO. (2016). Agriculture production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
10. Flowers, T. J., Gaur, P. M., Gowda, C. L., Krishnamurthy, L., Samineni, S., Siddique, K. H., Turner, N. C., Vadez, V., Gill S. S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930.
11. Hirich, A., Jelloul, A., Choukr-Allah, R. & Jacobsen, S. E. (2014). Saline water irrigation of quinoa and chickpea: seedling rate, stomatal conductance and yield responses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, 378-389.
12. Kafi, M., Bagheri, A., Nabati, J., Mehrjerdi, M. Z. & 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*, 1, 55-70. (In Persian)
13. Kanawapee, N., Sanitchon, J., Lontom, W. & Threerakulpisut, P. (2012). Evaluation of salt tolerance at the seedling stage in rice genotypes by growth performance, ion accumulation, proline and chlorophyll content. *Plant and Soil*, 358, 235-249.
14. Khan, H. A., Siddique, K. H. & Colmer, T. D. (2017). Vegetative and reproductive growth of salt-stressed chickpea is carbon-limited: sucrose infusion at the reproductive stage improves salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 68, 2001-2011.
15. Khani-Karimabadi, Y., Zali, A. G., Ehsanzadeh, P. & Razmjoo, J. (2018). Modification of some mineral ionic compositions, phenology and yield of pot-grown chickpea as affected by saline water. *Plant Production Function*, 23, 111-123. (In Persian)
16. Lawson, T., Oxborough, K., Morison, J. I. L. & Baker, N. R. (2003). The responses of guard and mesophyll cell photosynthesis to CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, light and water stress in a range of species are similar. *Journal of Experimental Botany*, 54, 1743-1752.
17. Meloni, D. A., Oliva, M. A., Ruiz, H. A. & Martinez, C. A. (2001). Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 599-612.
18. 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 EM 9 (*Malus domestica* Borkh). *Environmental and Experimental Botany*, 56, 54-62.
19. Mundree, S. G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C. V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J. M. & Thomson, J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology*, 1, 28-38.
20. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
21. Nabati, J., Kafi, M., Khaninejad, S., Masomi, A., Zare Mehrjerdi, M. & Keshmiri, E. (2015). Evaluation salinity stress on some photosynthetic characteristics in five Kochia (*Kochia scoparia* L.) Schra. ecotypes. *Journal of Crop Production*, 8, 49-77. (In Persian)
22. Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60324-349.
23. Prado, F. E., Boero, C., Gallardo, M. R. A. & González, J. A. (2000). Effect of NaCl on growth germination and soluble sugars content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds.
24. Premachandra, G. S., Saneoka, H., Kanaya, M. & Ogata, S. (1991). Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. *Journal of Experimental Botany*, 42, 167-171.

25. Rasool, S., Ahmad, A. & Siddiqi, T. O. (2012). Differential response of chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Functional and Environmental Botany*, 2, 59-64.
26. Shahid, M. A., Balal, R. M., Pervez, M. A., Abbas, T., Ashfaq, M., Ghazanfar, U., Afzal, M., Rashid, A., Garcia-Sanchez, F. & Mattson, N. S. (2012). Differential response of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes to salt stress in relation to the growth, physiological attributes antioxidant activity and organic solutes. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 828-838.
27. Siddique, K. H. M. & Sedgley, R. H. (1986). Chickpea (*Cicer arietinum* L.), a potential grain legume for south-western Australia: seasonal growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37, 245-261.
28. Smart, R. E. & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53, 258-260.
29. Sudhir, P. & Murthy, S.D.S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42, 481-486.
30. Vadez, V., Krishnamurthy, L., Serraj, R., Gaur, P. M., Upadhyaya, H. D., Hoisington, D. A., Varshney, R. K., Turner, N. C. & Siddique, K. H. M. (2007). Large variation in salinity tolerance in chickpea is explained by differences in sensitivity at the reproductive stage. *Field Crops Research*, 104, 123-129.