



به‌گزینی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود کابلی در شرایط مزرعه

زهرا نصیری^۱، جعفر نباتی^{۲*}، احمد نظامی^۲، محمد کافی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استادیار گروه بقولات، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استاد گروه آگروتکنولوژی و گروه بقولات دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۹

چکیده

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تأثیر منفی بر کمیت و کیفیت تولید محصولات زراعی دارد؛ بنابراین شناسایی جنبه‌های فیزیولوژیک در شرایط تنش برای مدیریت کاهش خسارت دارای اهمیت زیادی است. در همین راستا مطالعه‌ای به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. هدایت الکتریکی نیم (شاهد) و هشت دسی زمینس بر متر (کلرید سدیم) در کرت‌های اصلی و ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. بیشترین میزان افزایش در کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در سه ژنوتیپ MCC65، MCC92 و MCC95 و کمترین میزان افزایش در ژنوتیپ MCC12 مشاهده شد. اعمال تنش شوری افزایش ۲۴، ۱۹ و ۱۹ درصدی را در میزان پتانسیل اسمزی، مالون‌دی‌آلدئید و میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH نشان داد. محتوی نسبی آب برگ و پایداری غشاء به ترتیب کاهش ۱۰ و ۱۳ درصدی را نشان دادند. میزان کاهش درصد بقاء، تعداد شاخه‌های جانبی و ارتفاع بوته به ترتیب ۶، ۲۲ و ۵۷ درصد بود. عملکرد دانه ۷۲ درصد کاهش یافت. بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به سه ژنوتیپ MCC65، MCC92 و MCC95 با ۰/۱۸۳، ۰/۱۹۳ و ۰/۱۸۱ کیلوگرم در مترمربع بود و در مقابل ژنوتیپ‌های MCC298 و MCC98 بیشترین میزان کاهش در عملکرد دانه را داشتند. بیشترین و کمترین میزان سدیم به ترتیب مربوط به ژنوتیپ MCC95 با ۹/۵۳ و ژنوتیپ MCC65 با ۵/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود. بیشترین میزان پتاسیم در شرایط بدون تنش و تنش شوری به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های MCC65 و MCC95 بود. ژنوتیپ‌های MCC65، MCC95 و MCC92 دارای برتری صفات در شرایط تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. در نهایت مطالعه بیشتر در ارتباط با سه ژنوتیپ برتر در شرایط تنش شوری در جهت شناسایی مکانیسم‌های تحمل به تنش و همچنین به‌عنوان زیرساخت در جهت برنامه‌های به‌نژادی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، پتانسیل اسمزی، پرولین، عملکرد دانه، محتوی نسبی آب برگ

مقدمه

نخود (2007). سطح زیر کشت نخود ۱۲/۶ میلیون هکتار و میزان تولید سالانه آن بیش از ۱۲ میلیون تن است (FAO, 2016). در این میان ایران پس از کشورهای هند، پاکستان و استرالیا با ۵۶۱ هزار هکتار، رتبه چهارم سطح زیر کشت را دارا است و متوسط عملکرد نخود در ایران با تولید ۳۰۰ هزار تن، حدود ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2016). با توجه به وضعیت مناطقی که نخود در آن‌ها کشت می‌شود، تنش‌ها، از

نخود (*Cicer arietinum* L.) جزو اولین گیاهانی است که توسط انسان کشت و کار شده است (Mann et al., 2015). این گیاه علاوه بر تثبیت نیتروژن، به سبب جایگاه سوم از نظر تولید در میان کل حبوبات در آسیا، استرالیا و شمال آمریکا حائز اهمیت است (Roy et al., 2010) و یک منبع بسیار ارزشمند پروتئین، برای مصرف انسان در کشورهای در حال توسعه است (Zaccardelli et al., 2013; Dhingra,)

2017). در حقیقت، شناسایی ژنوتیپ‌هایی که دارای رشد مناسبی در شرایط شوری باشند علاوه بر افزایش در 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 and Tester, 2008). علی‌رغم تنوع ژنتیکی اندک بین ارقام نخود از نظر تحمل به شوری (Dhingra et al., 2007)، مطالعات انجام‌گرفته حاکی از موفقیت در گزینش ژنوتیپ‌های مختلف نخود در شرایط شوری است (Vadez et al., 2007). با توجه به مطالب ذکرشده، این مطالعه با هدف بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک تعدادی از ژنوتیپ‌های نخود کابلی به تنش شوری در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. هفده ژنوتیپ نخود کابلی برتر از مطالعات مقدماتی به‌گزینی در شرایط شور انتخاب و از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند (جدول ۱). هدایت الکتریکی آب مورد استفاده ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. از کلرید سدیم جهت تهیه آب‌شور برای اعمال شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد. به‌منظور تهیه محلول شوری مقدار آب آبیاری در هر کرت اندازه‌گیری و بر این اساس مقدار نمک در هر لیتر محاسبه گردید. این محلول در مزرعه تهیه و توسط لوله‌های پلی‌اتیلن در مزرعه توزیع شد. قبل از کاشت ویژگی‌های خاک محل مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

کاشت در ۲۰ اسفند ۱۳۹۶ انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف به طول دو متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف شش سانتی‌متر بود. بلافاصله پس از کاشت آبیاری انجام و تیمارهای آبیاری به‌صورت تکمیلی در سه مرحله به‌طور یکسان برای ۱۷ ژنوتیپ، قبل از گلدهی، زمان گلدهی و پر شدن غلاف‌ها انجام شد. از کلرید سدیم جهت تهیه آب‌شور استفاده شد. حجم آب آبیاری برای هر کرت با استفاده از کنتور ثبت و مقدار آب در تمامی تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. به‌منظور تهیه محلول شوری مقدار

مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد این گیاه می‌باشند که در این میان تنش شوری عملکرد کمی و کیفی نخود را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

آبیاری، زهکشی نامناسب، پیشروی دریا در مناطق ساحلی و تجمع نمک در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی شوری خاک را به همراه داشته و روزبه‌روز در حال افزایش است. استقرار و تولید گیاهان زراعی در نتیجه شوری در بسیاری از مناطق کشاورزی دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت‌های بسیاری همراه شده است (Flowers et al., 2010) و شوری حدود ۸ تا ۱۰ درصد از تولید جهانی نخود را کاهش می‌دهد (Samineni et al., 2011).

نخود معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک رشد می‌کند که خاک این مناطق تحت تأثیر شوری قرار دارد (Dhingra, 2007). نخود به شوری خاک نسبتاً حساس است (Flowers et al., 2010)؛ و به دنبال این تنش، 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 در نهایت مرگ سلول منتهی می‌شود (Molassiotis et al., 2006). گیاه در پاسخ به تنش شوری مکانیسم‌های فیزیولوژیک از جمله افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول، تجمع اسیدآمینو پرولین همچنین افزایش در میزان مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH را به‌منظور حفاظت اسمزی اتخاذ می‌کند (Mann et al., 2015).

کربوهیدرات‌های محلول و پرولین می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر فیزیولوژیک در بررسی تحمل به تنش شوری در نخود مورد استفاده قرار گیرند (Yin et al., 2009). افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول و پرولین، پتانسیل اسمزی در سلول را منفی‌تر کرده و موجب القای آماس سلولی خواهد شد. علاوه بر پیامدهای فیزیولوژیک تنش شوری بر نخود، شوری کاهش رشد رویشی در نخود را به همراه دارد (Khan et al., 2015). همچنین عملکرد نخود تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد (Vadez et al., 2007; Samineni et al., 2011; Doraki et al., 2016). شکست و موفقیت در عملکرد به تعداد دانه (Flowers et al., 2010; Khan et al., 2017)، تعداد شاخه اصلی و فرعی نسبت داده می‌شود (Vadez et al., 2012). به نظر می‌رسد توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشدی گیاه می‌تواند در درک عوامل محدودکننده رشد و تولیدمثل نخود در شرایط شوری کمک کند (Khan et al.,

کربوهیدرات‌های محلول برگ با استفاده از روش فنول سولفوریک اسید (Dubois et al., 1956) و استاندارد گلوکز تعیین شد. میزان پرولین در بافت برگ بر اساس روش (Batse et al., 1973) اندازه‌گیری شد. مقدار غلظت پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین تعیین شد.

آب آبیاری در هر کرت اندازه‌گیری و بر این اساس مقدار نمک در هر لیتر محاسبه گردید.

ویژگی‌های مورد ارزیابی شامل محتوی نسبی آب برگ، کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، پراکسیداسیون لیپیدها، شاخص پایداری غشاء، مهار فعالیت رادیکال DPPH، پتانسیل اسمزی آب برگ و غلظت سدیم و پتاسیم در اندام هوایی در زمان ۵۰ درصد گلدهی بودند.

جدول ۱. ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش و منشأ آن‌ها

Table 1. Used chickpea genotypes and their origins

ردیف No	شناسه در بانک بذر Seed bank ID	منشأ Origin
1	MCC12	IRAN
2	MCC65	Flip88-32C
3	MCC72	5302
4	MCC77	Flip86-58C
5	MCC92	12228
6	MCC95	217655
7	MCC98	6102
8	MCC139	217897
9	MCC158	2217
10	MCC298	CIYT-610
11	MCC313	Flip90-183C
12	MCC420	IRAN
13	MCC483	Flip93-250C
14	MCC485	Flip93-252C
15	MCC500	Sel95TH1722
16	MCC679	IRAN
17	MCC776	Flip97-111C

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

MCC: Mashhad Chickpea Collection

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the soils used in the field experiments

کربن آلی Organic carbon	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن قابل دسترس N	بافت خاک Texture
%	dS.m ⁻¹		-----mg.kg ⁻¹ -----		%	
0.739	1.2	7.56	157	17.5	0.07	Sandy loam

$$mMol/g = (-Op/RT) \times (WC/(I-WC)) \quad [1]$$

که در این معادله مقدار اسمولیت برحسب میلی مول بر گرم ماده خشک، R ثابت گاز معادل ۰/۰۸۳ و T درجه حرارت محیط برحسب کلون و Op پتانسیل اسمزی برگ برحسب بار و WC مقدار آب برگ است.

پتانسیل اسمزی برگ‌ها با استفاده از دستگاه اسمومتر (مدل OM802.D شرکت Wogel) بر اساس روش نقطه انجماد تعیین شد. مقدار اسمولیت در برگ بر اساس ترکیب رابطه وانت هوف و مقدار آب برگ با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

9.1 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت و برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار STATISTICA8 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین سطوح تنش شوری، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش آن‌ها از نظر کربوهیدرات‌های محلول تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳). برهمکنش تنش شوری در ژنوتیپ‌های نخود کابلی نشان داد که با اعمال تنش شوری غلظت کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت (جدول ۴). با اعمال تنش هشت دسی زیمنس بر متر بیشترین و کمترین میزان افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول به ترتیب مربوط به سه ژنوتیپ MCC95، MCC65 و MCC92 به ترتیب با چهار و سه برابر و MCC12 به میزان ۱۷ درصد بود (جدول ۴). میزان کربوهیدرات‌های محلول در تمام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به جز دو ژنوتیپ MCC158 و MCC679 در سطح تنش شوری هشت دسی زیمنس بر متر افزایش یافت. کربوهیدرات‌های محلول ترکیب‌هایی هستند که گیاه برای تنظیم و حفاظت اسمزی از آن‌ها بهره می‌جوید (Hirich et al., 2014). نتایج به دست آمده از مطالعات محققان نشان می‌دهد که میزان کربوهیدرات‌های محلول در تنش شوری افزایش می‌یابد (Teimouria et al., 2009)؛ بنابراین میزان کربوهیدرات‌های محلول می‌تواند به عنوان یک نشانگر فیزیولوژیکی در بررسی تحمل به تنش شوری در نخود مورد استفاده قرار گیرد (Yin et al., 2009).

برهمکنش تنش شوری بر ژنوتیپ‌های نخود کابلی از نظر غلظت پرولین معنی‌دار بود (جدول ۳). با اعمال تنش شوری بین بیشترین میزان افزایش پرولین در شرایط تنش شوری (MCC92) و کمترین (MCC12) میزان افزایش پرولین در شرایط تنش شوری ۸۰ درصد تفاوت مشاهده شد (جدول ۴). گیاه در هنگام مواجهه با تنش شوری سازوکار افزایش در میزان پرولین (Meloni et al., 2001) و کربوهیدرات‌های محلول خود را به عنوان اسمولیت‌های سازگار و با هدف تنظیم اسمزی انتخاب می‌کند. در این میان نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تحت شرایط تنش، بیشترین میزان پرولین در ژنوتیپ MCC65 دیده می‌شود که بیشترین میزان غلظت کربوهیدرات‌های محلول را نیز دارا است و ژنوتیپ MCC92 با بیشترین افزایش پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش شوری، به نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها نسبت به

پراکسیداسیون لیپیدها با اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید به روش (Heath and Paker., 1968) انجام شد. برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید، مقدار جذب در ۶۰۰ نانومتر از جذب در ۵۳۲ نانومتر کاسته شد و در ادامه کمیت مالون‌دی‌آلدئید بر اساس ضریب خاموشی 1.05×10^5 مولار بر سانتی‌متر محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری مهار 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). برای این منظور از منحنی استاندارد اسید آسکوربیک استفاده گردید. محتوای نسبی آب برگ (RWC) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته پس از توزین اولیه و ۲۴ ساعت قرارگیری در آب مقطر توزین مجدد و سپس خشک کردن آن‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد از طریق معادله (۲) به دست آمد (Smart and Bingham., 1974).

$$RWC = ((F_w - D_w) / (S_w - D_w)) \times 100 \quad [2]$$

که در آن RWC: محتوی نسبی آب برگ، F_w : وزن تر، D_w : وزن خشک و S_w : وزن تورژسانس است.

به منظور تعیین شاخص پایداری غشای سلولی از هر کرت یک برگ جوان توسعه یافته جدا و به مدت ۲۴ ساعت در داخل ویال‌های حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) توسط دستگاه هدایت سنج (مدل Jenway) اندازه‌گیری گردید. در ادامه ویال‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر اتوکلاو شدند و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) قرائت و در نهایت شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI) توسط معادله (۳) محاسبه شد (Sairam et al., 2004).

$$MSI = (EC_2 / EC_1) \times 100 \quad [3]$$

میزان سدیم و پتاسیم اندام هوایی گیاه با استفاده نمونه خشک و هضم در اسید نیتریک ۸۰ درصد و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های سدیم و پتاسیم استاندارد تعیین گردید (Tandon, 1995).

در انتهای فصل رشد پس از حذف حاشیه برداشت انجام و عملکرد دانه تعیین شد. درصد بقاء از تقسیم تعداد بوته‌های باقی مانده پس از اعمال تنش به تعداد کل بوته‌ها قبل از تنش به دست آمد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS

(Prado et al., 2000). همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0/56^{**}$) بین میزان کربوهیدرات‌های محلول و میزان پرولین وجود داشت. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش شوری غلظت پرولین بالاتری دارند و این امر موجب افزایش تنظیم اسمزی و درنهایت کاهش تجمع سدیم در داخل سلول می‌شود (Mann et al., 2015).

سایر ژنوتیپ‌ها در تحمل تنش موفق‌تر ظاهر شوند چراکه پرولین و کربوهیدرات‌های محلول تحمل گیاه به تنش را بهبود می‌دهند (Kaur et al., 2014). این در حالی است که کمترین میزان افزایش پرولین در ژنوتیپ MCC12 مشاهده شد (جدول ۴). پرولین همچنین می‌تواند نقش مهمی در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌ها، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و تثبیت غشاء سلول تحت تنش شوری داشته باشد

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش شوری بر کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، پتانسیل اسمزی، مالون‌دی‌آلدئید، مهار فعالیت رادیکال DPPH، محتوی نسبی آب برگ

Table 3. Analysis of variance (Mean square) effect of salinity on soluble carbohydrates, proline, osmotic potential, MDA, DPPH, relative water content and MSI in chickpea genotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	پرولین Proline	پتانسیل اسمزی Osmotic potential	مالون‌دی‌آلدئید MDA	مهار فعالیت رادیکال DPPH	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	درصد پایداری غشاء MSI
بلوک Block	2	0.938*	0.102 ^{ns}	1.290**	21.76 ^{ns}	0.0013 ^{ns}	22.67 ^{ns}	9.86*
شوری Salinity(S)	1	33.58**	127.1**	5.642**	1905**	0.1029**	1187**	1972**
خطا Error a	2	0.240	0.080	0.343	12.89	0.0003	65.82	13.04
ژنوتیپ Genotyp (G)	16	2.849**	2.117**	0.526**	308.5**	0.004**	109.9**	233.7**
شوری×ژنوتیپ S × G	16	2.925**	1.331**	0.344**	16.45*	0.0013**	111.7**	8.150**
خطا Error	64	0.163	0.224	0.051	7.570	0.0005	23.40	2.300
CV%	ضریب تغییرات	19	15	10	5	6	7	2

ns: عدم تفاوت معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات. ns: no significant, *: significant at probability level of 5%, **: significant at probability level of 1%, CV: Coefficient variation.

تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پتانسیل اسمزی و میزان پرولین ($r=0/62^{**}$) و کربوهیدرات‌های محلول ($r=0/50^{**}$) مشاهده شد. این همبستگی بیان‌گر این موضوع است که پرولین و کربوهیدرات‌ها از جمله ترکیب‌هایی می‌باشند که در تنظیم اسمزی نقش دارند. همان‌طور که در این مطالعه به‌وضوح مشخص است، ژنوتیپ MCC12 با کمترین افزایش در میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، کمترین درصد افزایش پتانسیل اسمزی و ژنوتیپ MCC65 با افزایش قابل توجه در تجمع این مواد، بیشترین پتانسیل اسمزی را داشتند. تنظیم

برهمکنش تنش شوری در ژنوتیپ‌های نخود نشان داد که در تمامی ژنوتیپ‌ها با اعمال تنش شوری پتانسیل اسمزی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳ و ۴). با این وجود، میزان تغییرات در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بود، به‌طوری‌که کمترین میزان افزایش پتانسیل اسمزی در ژنوتیپ MCC12 با سه درصد و بیشترین میزان افزایش پتانسیل اسمزی در ژنوتیپ MCC65 با ۷۹ درصد مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که MCC65، MCC92 و MCC95 دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند و این در حالی است که بین سایر ژنوتیپ‌ها

۴). میزان DPPH دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با پرولین ($r=0/69^{**}$)، پتانسیل اسمزی ($r=0/58^*$) و مالون‌دی‌آلدئید ($r=0/46^{**}$) بود. تجمع گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان تحت تنش شوری سبب آسیب‌های اکسیداتیو به چربی‌ها و پروتئین‌ها شده 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 DPPH در زمره آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی است. به نظر می‌رسد گیاهان متحمل به شوری توانایی افزایش میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH خود را دارند (Bandeoglu et al., 2004). باین‌حال این نکته قابل توجه است که ژنوتیپ MCC12 با کمترین میزان در افزایش پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و پتانسیل اسمزی، توانست میزان DPPH خود را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد (جدول ۴). در این مطالعه بررسی برهمکنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود کابلی بیانگر اختلاف معنی‌دار درصد شاخص پایداری غشاء بود (جدول ۳). در میان ۱۷ ژنوتیپ مورد بررسی، بیشترین و کمترین میزان کاهش شاخص پایداری غشاء به ترتیب مربوط به ژنوتیپ MCC298 با ۲۰ درصد کاهش و ژنوتیپ MCC65 با چهار درصد کاهش بود (جدول ۴). چهار ژنوتیپ MCC420، MCC65، MCC92، MCC95 و بیشترین MCC485 کمترین میزان پایداری غشاء را در شرایط بدون تنش و در شرایط تنش سه ژنوتیپ MCC65، MCC92 و MCC95 بیشترین و دو ژنوتیپ MCC158 و MCC298 کمترین میزان پایداری غشاء را دارا بودند (جدول ۴). شاخص پایداری غشاء دارای همبستگی منفی و معنی‌داری با پرولین ($r=0/22^*$) بود. از دست رفتن فشار آماس گیاه در نتیجه‌ی تنش شوری رخدادی است که به دنبال آن بسته شدن روزنه‌ها و کاهش در جذب دی‌اکسید کربن خواهد بود و در نهایت کاهش فعالیت‌های متابولیکی گیاه را به همراه خواهد داشت (Zu et al., 2018). تولید گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش شوری نشت از غشاء‌های سلولی را به دنبال دارد پایداری غشاء تحت تنش شوری کاهش می‌یابد (Doraki et al., 2016). توجه به این نکته ضروری است که ژنوتیپ MCC298 با کمترین میزان در افزایش مالون‌دی‌آلدئید، بیشترین کاهش در پایداری غشاء را دارا است.

اسمزی با تجمع محلول‌های سازگار در سیتوسول و اندام‌های سلولی تسهیل می‌شود (Ahmad et al., 2010).

بررسی برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود کابلی حاکی از افزایش معنی‌دار میزان مالون‌دی‌آلدئید بود (جدول ۳ و ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در ژنوتیپ MCC12 و کمترین میزان در ژنوتیپ MCC298 به ترتیب به میزان ۵۹ و ۳۸ نانومتر بر گرم ماده تر مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان افزایش مالون‌دی‌آلدئید مربوط به ژنوتیپ MCC98 با ۳۴ درصد افزایش و کمترین میزان با دو درصد افزایش مربوط به ژنوتیپ MCC65 بود (جدول ۴).

در این مطالعه همبستگی غلظت مالون‌دی‌آلدئید با میزان کربوهیدرات‌های محلول ($r=0/40^{**}$) و پرولین ($r=0/55^{**}$) مثبت و معنی‌دار بود. مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان یک معیار انتخاب برای ارزیابی آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاهان مختلف به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش سطح تنش شوری از نیم به هشت دسی‌زیمنس بر متر کمترین میزان افزایش مالون‌دی‌آلدئید در ژنوتیپ MCC65 مشاهده شد. این در حالی است که این ژنوتیپ در شرایط تنش شوری در زمره ژنوتیپ‌هایی قرار گرفت که بیشترین میزان افزایش پرولین و کربوهیدرات‌های محلول را داشت (جدول ۴). این نتایج می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که ژنوتیپ MCC65 به میزان کمتری در معرض تنش اکسیداتیو قرار گرفته است. تنش اکسیداتیو مسئول تولید رادیکال‌های آزاد است که سبب تخریب گیاه و آسیب به بیومولکول‌ها مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Kaur et al., 2014).

برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود کابلی نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر میزان مهار فعالیت رادیکال DPPH وجود دارد (جدول ۳). با اعمال تنش شوری دو ژنوتیپ MCC12 و MCC92 بیشترین میزان افزایش غلظت DPPH (به ترتیب ۳۹ و ۳۴ درصد) و دو ژنوتیپ MCC485 و MCC298 کمترین میزان افزایش DPPH را (به ترتیب با شش و چهار درصد) داشتند (جدول ۴). این در حالی است که کمترین میزان DPPH در شرایط بدون تنش شوری مربوط به ژنوتیپ MCC12 به میزان ۰/۲۷ میلی‌گرم آسکوربات در گرم ماده تر و بیشترین میزان DPPH در شرایط تنش مربوط به دو ژنوتیپ MCC65 و MCC95 به میزان ۰/۴۵ میلی‌گرم آسکوربات در گرم ماده تر بود (جدول ۴).

جدول ۴. اثر تنش شوری بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، پتانسیل اسمزی، مالون‌دی‌آلدئید، مهار رادیکال DPPH، محتوی نسبی آب برگ و درصد پایداری غشاء در ژنوتیپ‌های نخود

Table 4. Effect of salinity stress on soluble carbohydrates, proline, osmotic potential, MDA, DPPH, relative water content and MSI in chickpeas genotypes

سطح شوری Salinity level	ژنوتیپ Genotyp	کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrate		پتانسیل اسمزی Osmotic potential	مالون‌دی‌آلدئید MDA	مهار فعالیت رادیکال DPPH	محتوای نسبی آب برگ RWC		پایداری غشاء MSI
		mg.gfw ⁻¹					%		
0.5 dS.m ⁻¹	MCC12	2.14 ^e	2.35 ^{de}	2.05 ^{bd}	53.71 ^{ef}	0.270 ^k	78.1 ^b	80.8 ^{cd}	
	MCC65	1.34 ^{fg}	2.37 ^{de}	1.95 ^{bc}	54.20 ^{cd}	0.350 ^{d-j}	64.4 ^{d-h}	88.5 ^a	
	MCC72	2.26 ^{cd}	1.97 ^f	1.92 ^{bc}	46.74 ^{gh}	0.317 ^{g-k}	72.4 ^{a-h}	77.1 ^{de}	
	MCC77	1.79 ^{ef}	1.87 ^f	1.99 ^{bc}	56.74 ^{bc}	0.303 ^{i-k}	87.5 ^a	71.2 ^{e-g}	
	MCC92	1.23 ^{fg}	1.98 ^f	2.10 ^{bc}	57.82 ^{bc}	0.320 ^{f-k}	75.2 ^{a-f}	87.4 ^a	
	MCC95	0.75 ^g	1.71 ^f	2.21 ^{bc}	46.94 ^{gh}	0.353 ^{d-j}	61.0 ^{f-h}	86.3 ^a	
	MCC98	1.83 ^{ef}	2.36 ^{de}	2.11 ^{bc}	43.12 ^{ij}	0.323 ^{e-k}	76.7 ^{a-f}	74.9 ^{d-f}	
	MCC139	1.89 ^{ef}	2.71 ^{de}	1.85 ^{bc}	41.86 ^{ij}	0.350 ^{d-j}	82.2 ^{ab}	76.2 ^{de}	
	MCC158	3.37 ^{ab}	1.63 ^{fg}	1.90 ^{bc}	44.97 ^{h-j}	0.307 ^{e-k}	73.1 ^{a-h}	75.8 ^{de}	
	MCC298	0.74 ^g	1.95 ^f	1.50 ^c	34.33 ^j	0.350 ^{d-j}	76.7 ^{a-f}	76.9 ^{de}	
	MCC313	0.70 ^g	1.73 ^f	1.99 ^{bc}	43.43 ^{ij}	0.333 ^{e-k}	73.7 ^{a-h}	72.2 ^{e-g}	
	MCC420	1.67 ^f	1.78 ^f	1.88 ^{bc}	54.87 ^{cd}	0.367 ^{c-i}	80.9 ^{ab}	85.4 ^{ab}	
	MCC483	1.46 ^f	1.87 ^f	2.06 ^{bc}	36.73 ^{ij}	0.293 ^{jk}	79.2 ^{a-d}	81.7 ^{bc}	
	MCC485	1.90 ^{ef}	1.31 ⁱ	2.01 ^{bc}	37.55 ⁱ	0.343 ^{e-j}	67.5 ^{b-h}	70.7 ^{fg}	
MCC500	0.76 ^g	1.79 ^f	1.70 ^{bc}	46.98 ^{gh}	0.320 ^{f-k}	73.2 ^{a-h}	73.3 ^{d-f}		
MCC679	1.44 ^f	1.85 ^f	2.02 ^{bc}	43.08 ^{ij}	0.313 ^{g-k}	72.4 ^{a-h}	72.6 ^{e-g}		
MCC776	1.75 ^{ef}	1.92 ^f	1.80 ^{bc}	44.13 ^{h-j}	0.343 ^{e-j}	72.5 ^{a-h}	72.7 ^{e-g}		
8 dS.m ⁻¹	MCC12	2.50 ^{cd}	3.66 ^{bcd}	2.11 ^{bc}	64.06 ^{ab}	0.377 ^{b-h}	63.6 ^{d-h}	70.9 ^{fg}	
	MCC65	4.68 ^a	6.52 ^a	3.50 ^a	55.04 ^{cd}	0.453 ^a	73.4 ^{a-h}	84.9 ^{ab}	
	MCC72	3.43 ^{ab}	3.92 ^{bc}	2.20 ^{bc}	53.75 ^{de}	0.420 ^{a-d}	64.3 ^{d-h}	66.8 ^{l-m}	
	MCC77	3.59 ^{ab}	4.66 ^b	2.06 ^{bc}	62.71 ^{ab}	0.373 ^{c-i}	76.1 ^{a-f}	65.5 ^{mn}	
	MCC92	3.55 ^{ab}	6.59 ^a	3.53 ^a	69.05 ^a	0.430 ^{a-c}	58.2 ^h	79.8 ^{cd}	
	MCC95	2.95 ^{bc}	4.02 ^{bc}	3.37 ^a	57.28 ^{bc}	0.446 ^{ab}	66.8 ^{b-h}	75.9 ^{de}	
	MCC98	2.86 ^{bc}	4.19 ^{bc}	2.35 ^b	57.60 ^{bc}	0.377 ^{b-h}	64.3 ^{d-h}	65.5 ^{mn}	
	MCC139	3.04 ^{bc}	4.87 ^b	2.13 ^{bc}	48.24 ^{f-h}	0.393 ^{a-c}	74.0 ^{a-g}	68.5 ^{fg}	
	MCC158	0.63 ^g	3.25 ^{c-e}	2.05 ^{bc}	56.61 ^{bc}	0.370 ^{c-i}	65.6 ^{c-h}	64.0 ^{gh}	
	MCC298	1.62 ^f	3.20 ^{c-e}	2.23 ^{bc}	42.13 ^{ij}	0.370 ^{c-i}	69.5 ^{b-h}	64.37 ^{gh}	
	MCC313	1.61 ^f	3.55 ^{b-d}	2.14 ^{bc}	52.02 ^{ef}	0.380 ^{b-g}	72.2 ^{a-h}	63.7 ^{gh}	
	MCC420	2.21 ^{cd}	3.95 ^{bc}	2.10 ^{bc}	63.44 ^{ab}	0.417 ^{a-d}	62.7 ^{c-h}	76.6 ^{de}	
	MCC483	2.79 ^{b-d}	3.27 ^{c-e}	2.25 ^{bc}	42.05 ^{ij}	0.340 ^{e-k}	64.9 ^{d-h}	72.8 ^{e-g}	
	MCC485	4.58 ^a	4.11 ^{bc}	2.13 ^{bc}	44.21 ^{hij}	0.357 ^{d-j}	77.6 ^{a-e}	65.1 ^{gh}	
MCC500	1.66 ^f	4.05 ^{bc}	2.31 ^{bc}	54.17 ^d	0.380 ^{b-g}	71.0 ^{b-h}	65.7 ^{gh}		
MCC679	0.76 ^g	3.14 ^{c-e}	2.19 ^{bc}	55.41 ^{bc}	0.363 ^{c-j}	67.4 ^{b-h}	61.9 ^h		
MCC776	4.07 ^{ab}	4.15 ^{bc}	2.40 ^b	56.38 ^{bc}	0.390 ^{a-f}	59.2 ^{gh}	62.3 ^h		

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارد.

Within each column, means followed by the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p < 0.05$).

شوری و ژنوتیپ‌های نخود نشان‌دهنده‌ی کاهش محتوای نسبی آب برگ بود که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نیز بود (جدول ۳). در میان ۱۷ ژنوتیپ مورد بررسی سه ژنوتیپ

محتوای نسبی آب برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌گر وضعیت آبی گیاه است (Kafi et al., 2011; Doraki et al., 2016; Dharam et al., 2018). برهمکنش

پتانسیل آب در داخل سلول، آب بیشتری را جذب کند (Nabati et al., 2010). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های MCC65 و MCC95 با بیشترین میزان افزایش در پرولین و کربوهیدرات‌های محلول موفق در تنظیم پتانسیل اسمزی شده و محتوای نسبی آب برگ خود را افزایش دادند و در مقابل MCC298 شرایط عکس این دو ژنوتیپ را دارا بود (جدول ۴).

تنش شوری اثر معنی‌داری بر کاهش تعداد شاخه در بوته داشت (جدول ۵).

MCC65، MCC92 و MCC485 روند متفاوتی داشته و توانستند محتوای نسبی آب برگ خود را با اعمال تنش شوری به میزان ۱۲، ۹ و ۱۳ درصد افزایش دهند (جدول ۴). دامنه تغییرات میزان محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های با روند کاهشی از دو درصد در ژنوتیپ MCC313 تا ۲۹ درصد در MCC92 متغیر بود (جدول ۴). بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که محتوای نسبی آب برگ دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با پرولین ($r = -0.34^{**}$) و DPPH ($r = -0.35^{**}$) بود. گیاه برای مقابله با کاهش محتوای آب نسبی آب برگ، میزان مواد محلول خود را افزایش داده تا بتواند با کاهش

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش شوری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد بقاء، میزان سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ‌های نخود

Table 5. Analysis of variance (mean square) effect of salinity on plant height, number of branch, 100-seed weigh, seed yield, survival, Na, K and Na/K (%) in chickpeas genotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته	تعداد شاخه در بوته	وزن صد دانه	عملکرد دانه Seed yield	درصد بقاء Survival	سدیم Na	پتاسیم K	نسبت سدیم به پتاسیم Na/K
		Plant heigh	Number of Branch	100-seed weigh					
بلوک Block	2	54.72 ^{**}	15.22 ^{**}	12.77 ^{ns}	0.0014 ^{**}	12.56 ^{ns}	0.820 ^{ns}	0.0869 [*]	6.190 ^{ns}
شوری Salinity (S)	1	1068 ^{**}	64.3 ^{**}	466 ^{**}	0.1057 ^{**}	900 ^{**}	4230 ^{**}	7.409 ^{**}	2266 ^{**}
خطا Error a	2	0.740	5.765	5.775	0.0001	12.56	0.880	0.0732	5.630
ژنوتیپ Genotyp (G)	16	1390 ^{**}	1.974 ^{ns}	59.56 ^{**}	0.0078 ^{**}	24.63 ^{ns}	5.650 ^{**}	0.617 ^{**}	19.35 ^{**}
شوری × ژنوتیپ S × G	16	26.54 ^{**}	1.928 [*]	10.96 ^{ns}	0.0016 ^{**}	24.63 ^{ns}	6.340 ^{**}	0.254 ^{**}	17.94 ^{**}
خطا Error	64	5.02	1.844	9.745	0.000004	26.88	0.440	0.0258	3.090
ضریب تغییرات CV%		6	17	12	2	5	8	14	27

ns: عدم تفاوت معنی‌دار *؛ معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **؛ معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.
ns: no significant *; significant at probability level of 5%, **: significant at probability level of 1%, CV: Coefficient variation.

کاهش ارتفاع گیاه یکی از بارزترین اثرات تنش شوری بر گیاهان است که تجمع مواد بازدارنده می‌تواند از دلایل اصلی آن باشد (Dharam et al., 2018). برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود کابلی نشان داد که در اثر تنش شوری ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). در میان ژنوتیپ‌ها بیشترین کاهش ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ MCC420 با ۲۱ درصد کاهش بود (جدول ۶). کمترین

در میان ژنوتیپ‌ها بیشترین کاهش تعداد شاخه در بوته در اثر تنش شوری مربوط به ژنوتیپ MCC298 با ۶۵ درصد و کمترین کاهش در دو ژنوتیپ MCC95 و MCC158 به میزان چهار درصد بود (جدول ۶). در میان ۱۷ ژنوتیپ موردبررسی تعداد شاخه در بوته در دو ژنوتیپ MCC65 و MCC92 بدون تغییر باقی ماند (جدول ۶).

میزان کاهش ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ MCC95 به میزان دو درصد بود. همچنین این ژنوتیپ کمترین کاهش را در تعداد شاخه‌های جانبی داشت (جدول ۶). ارتفاع بوته در ژنوتیپ MCC92 مشابه با تعداد شاخه، بدون تغییر بود. نتایج بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع کانوپی با تعداد

شاخه ($r=0/30^{**}$) بود. ارتفاع بوته دارای رابطه منفی و معنی‌داری با میزان پرولین ($r=-0/25^*$) و DPPH ($r=-0/28^{**}$) و از طرفی با پایداری غشاء ($r=0/37^{**}$) مثبت و معنی‌دار بود.

جدول ۶. اثر تنش شوری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه، درصد بقاء، مقدار سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ‌های نخود

Table 6. Effect of salinity stress on plant height, number of branch, 100-seed weight, seed yield, survival, Na, K and Na/K (%) in chickpeas genotypes

سطح شوری Salinity level	ژنوتیپ Genotyp	ارتفاع بوته Plant height		وزن صد دانه 100-seed weigh	عملکرد دانه Seed yield	درصد بقاء Survival	سدیم Na	پتاسیم K	نسبت سدیم به پتاسیم Na/K
		cm	شاخه در بوته Number of branch						
0.5 dS.m ⁻¹	MCC12	41.67 ^{bc}	9.33 ^{ab}	26.00 ^a	0.101 ^j	100 ^a	1.41 ^f	0.96 ^{fg}	1.50 ^e
	MCC65	42.67 ^{ab}	8.00 ^{ab}	29.67 ^a	0.218 ^a	100 ^a	1.36 ^f	1.40 ^{de}	1.08 ^e
	MCC72	47.00 ^a	9.33 ^{ab}	29.67 ^a	0.111 ^j	100 ^a	1.62 ^f	1.06 ^{ef}	1.51 ^e
	MCC77	49.67 ^a	9.00 ^{ab}	28.33 ^a	0.143 ^g	100 ^a	1.54 ^f	0.87 ^g	1.81 ^e
	MCC92	44.33 ^{ab}	8.33 ^{ab}	32.00 ^a	0.219 ^a	100 ^a	1.47 ^f	1.09 ^{e-k}	1.82 ^e
	MCC95	44.00 ^{ab}	8.00 ^{ab}	33.33 ^a	0.196 ^b	100 ^a	1.68 ^f	1.13 ^{ef}	1.51 ^e
	MCC98	41.00 ^{b-d}	8.33 ^{ab}	31.67 ^a	0.135 ^h	100 ^a	1.50 ^f	0.55 ^h	3.07 ^{de}
	MCC139	43.00 ^{ab}	9.33 ^{ab}	33.33 ^a	0.156 ^f	100 ^a	1.19 ^f	0.84 ^g	1.35 ^e
	MCC158	42.33 ^{ab}	8.33 ^{ab}	32.33 ^a	0.165 ^e	100 ^a	1.59 ^f	0.68 ^g	2.36 ^{de}
	MCC298	32.67 ^{fg}	9.33 ^{ab}	29.33 ^a	0.113 ⁱ	100 ^a	1.32 ^f	0.71 ^g	1.90 ^e
	MCC313	44.33 ^{ab}	10.00 ^a	23.67 ^a	0.128 ^h	100 ^a	1.32 ^f	0.63 ^g	2.26 ^{de}
	MCC420	44.00 ^{ab}	8.33 ^{ab}	23.33 ^a	0.135 ^h	100 ^a	1.48 ^f	1.12 ^{ef}	1.34 ^e
	MCC483	44.67 ^{ab}	7.67 ^{ab}	33.33 ^a	0.178 ^c	100 ^a	1.12 ^f	0.99 ^{fg}	1.13 ^e
	MCC485	47.00 ^{ab}	9.00 ^{ab}	29.00 ^a	0.174 ^{cd}	100 ^a	1.50 ^f	0.79 ^g	1.98 ^e
	MCC500	37.33 ^{d-f}	9.33 ^{ab}	27.00 ^a	0.162 ^{ef}	100 ^a	1.30 ^f	0.78 ^{gh}	1.70 ^e
MCC679	38.33 ^{cd}	9.67 ^{ab}	26.67 ^a	0.148 ^g	100 ^a	1.46 ^f	0.80 ^g	1.91 ^e	
MCC776	36.33 ^{ef}	9.00 ^{ab}	25.00 ^a	0.143 ^g	100 ^a	1.98 ^f	0.73 ^{gh}	2.78 ^{de}	
8 dS.m ⁻¹	MCC12	34.00 ^{fg}	8.00 ^{ab}	22.33 ^a	0.035 ^o	83 ^a	15.39 ^{ab}	1.12 ^{ef}	13.65 ^{ab}
	MCC65	39.67 ^{cd}	8.00 ^{ab}	28.33 ^a	0.149 ^g	100 ^a	15.23 ^{ab}	2.20 ^b	4.64 ^d
	MCC72	36.33 ^{ef}	8.00 ^{ab}	22.00 ^a	0.100 ⁱ	96 ^a	15.32 ^{ab}	1.52 ^{cd}	10.20 ^{bc}
	MCC77	47.00 ^{ab}	7.67 ^{ab}	22.00 ^a	0.143 ^g	95 ^a	15.39 ^{ab}	1.33 ^{de}	11.61 ^{ab}
	MCC92	44.33 ^{ab}	8.33 ^{ab}	28.67 ^a	0.167 ^{de}	97 ^a	14.76 ^{bc}	1.79 ^{bc}	6.09 ^{cd}
	MCC95	43.00 ^{ab}	7.67 ^{ab}	31.00 ^a	0.166 ^e	99 ^a	17.37 ^a	2.76 ^a	6.29 ^{cd}
	MCC98	35.33 ^{ef}	7.00 ^{ab}	25.33 ^a	0.047 ⁿ	95 ^a	12.13 ^{cde}	1.37 ^{de}	8.92 ^{bc}
	MCC139	36.33 ^{ef}	7.00 ^{ab}	30.67 ^a	0.086 ^k	94 ^a	16.23 ^{ab}	1.97 ^{bc}	8.25 ^{bc}
	MCC158	35.33 ^{ef}	8.00 ^{ab}	27.67 ^a	0.071 ^l	90 ^a	14.79 ^{bc}	1.03 ^{efj}	14.52 ^{ab}
	MCC298	28.67 ^g	5.67 ^{ab}	19.00 ^a	0.040 ^{no}	96 ^a	17.06 ^a	1.31 ^{de}	13.37 ^{ab}
	MCC313	39.33 ^{cd}	6.67 ^{ab}	20.67 ^a	0.065 ^{lm}	95 ^a	13.28 ^{cd}	1.39 ^{de}	9.62 ^{bc}
	MCC420	28.00 ^g	7.33 ^{ab}	21.33 ^a	0.061 ^{lm}	89 ^a	14.87 ^{bc}	1.17 ^{ef}	12.81 ^{ab}
	MCC483	34.33 ^{fg}	5.33 ^b	24.33 ^a	0.065 ^{lm}	94 ^a	14.57 ^{bc}	1.11 ^{ef}	13.31 ^{ab}
	MCC485	41.33 ^{bc}	7.67 ^{ab}	25.33 ^a	0.092 ^k	95 ^a	10.17 ^{de}	1.00 ^{e-g}	15.93 ^a
	MCC500	24.33 ^g	6.67 ^{ab}	24.67 ^a	0.065 ^{lm}	90 ^a	12.96 ^{c-e}	0.97 ^{fg}	14.00 ^{ab}
MCC679	30.67 ^{fg}	8.33 ^{ab}	24.33 ^a	0.087 ^k	95 ^a	13.46 ^{cd}	1.27 ^{de}	10.78 ^{a-c}	
MCC776	32.33 ^{fg}	6.00 ^{ab}	23.33 ^a	0.066 ^{lm}	96 ^a	10.82 ^{de}	0.97 ^{fg}	16.13 ^a	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارد.

Within each column, means followed by the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p<0.05$).

میزان پایداری غشاء (** $r=0/68$)، ارتفاع گیاه (** $r=0/62$)، درصد بقاء (** $r=0/50$) وجود داشت. تنش شوری با کاهش درصد بقاء گیاه و از سوی دیگر گیاه با صرف انرژی برای تحمل تنش، کاهش عملکرد و ارتفاع را در پی خواهد داشت.

بررسی برهمکنش تنش شوری در ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی از نظر درصد بقاء تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۵) اما شوری سبب کاهش معنی‌داری بر درصد بقاء بود (جدول ۶). در شرایط تنش شوری دامنه تغییرات درصد بقاء از یک درصد در ژنوتیپ MCC95 تا ۲۱ درصد در ژنوتیپ MCC420 متغیر بود (جدول ۶). ژنوتیپ MCC65 قادر به حفظ بقای خود تا ۱۰۰ درصد در شرایط تنش شوری بود (جدول ۶).

برهمکنش تنش شوری در ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی نشان داد که میزان سدیم با اعمال تنش شوری افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۵ و ۶). بیشترین میزان سدیم مربوط به ژنوتیپ MCC95 با $9/53$ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ MCC65 با $5/83$ میلی‌گرم بر گرم وزن تر است. تفاوت معنی‌داری در بین ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم شوری وجود نداشت اما ژنوتیپ MCC92 بیشترین میزان سدیم را در شرایط بدون تنش دارا بود (جدول ۶). این در حالی است که کمترین درصد افزایش سدیم مربوط به این ژنوتیپ به میزان پنج برابر و سپس ژنوتیپ MCC65 به میزان هفت برابر است و در شرایط تنش بیشترین میزان سدیم را ژنوتیپ MCC95 دارا است. به نظر می‌رسد تجمع یون سدیم در شرایط تنش شوری نشان‌دهنده‌ی این موضوع باشد که نخود گیاهی حساس به تنش شوری است و نمی‌تواند در برابر ورود یون سدیم به درون سیستم آوندی خود ممانعت کند و در نهایت سمیت یونی و کاهش عملکرد گیاه را به همراه دارد (Turner et al., 2013). همبستگی مثبت و معنی‌داری میان سدیم با میزان کربوهیدرات‌های محلول (** $r=0/43$)، پرولین (** $r=0/72$) و پتانسیل اسمزی (** $r=0/65$) مشاهده شد. این همبستگی به‌خوبی بیانگر این موضوع است که در شرایط تنش، با افزایش میزان سدیم، گیاه سعی بر این دارد که با تنظیم اسمزی از طریق تجمع محلول‌های سازگار در سیتوسول و اندام‌های سلولی اثرات تنش را کاهش دهد (Ahmad et al., 2006). این در حالی است که رابطه میان سدیم با شاخص پایداری غشاء (** $r=-0/60$)، ارتفاع بوته (** $r=-0/60$)، عملکرد دانه (** $r=-0/64$) و درصد بقاء (** $r=-0/53$) منفی و معنی‌دار بود.

تنش شوری و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر وزن صد دانه تأثیر معنی‌داری بر وزن صد دانه داشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن بود که بیشترین میزان وزن صد دانه مربوط به دو ژنوتیپ MCC95 و MCC139 به میزان ۳۲ گرم و کمترین میانگین میزان مربوط به دو ژنوتیپ MCC313 و MCC420 به میزان ۲۲ گرم بود (جدول ۶). نتایج همبستگی نشان داد که وزن صد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته (** $r=0/44$) و تعداد شاخه (** $r=0/20$) داشت. این در حالی است که همبستگی وزن صد دانه با میزان پرولین (** $r=-0/24$) و مالون‌دی‌آلدئید (** $r=-0/24$) منفی و معنی‌دار بود.

برهمکنش تنش شوری در ژنوتیپ‌های نخود کابلی نشانگر تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه بود (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه مربوط به سه ژنوتیپ MCC95، MCC65 و MCC92 به ترتیب با $0/18$ ، $0/19$ و $0/18$ کیلوگرم در سانتی‌متر مربع بود. این سه ژنوتیپ بیشترین میزان عملکرد در شرایط بدون تنش و همچنین در شرایط تنش شوری دارا بودند. این در حالی است که اعمال شوری سبب کاهش ۴۶، ۳۱ و ۱۹ درصدی عملکرد آن‌ها شد (جدول ۶). ژنوتیپ‌های MCC72 و MCC77 کمترین کاهش را با اعمال تنش نشان دادند که این کاهش به ترتیب ۳ و ۱۱ درصد بود (جدول ۶). کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به دو ژنوتیپ MCC98 و MCC298 به ترتیب به میزان $0/07$ و $0/09$ بود این در حالی است که این دو ژنوتیپ بیشترین میزان کاهش عملکرد دانه را به میزان سه برابر با اعمال تنش شوری نشان دادند (جدول ۶). سایر مطالعات مطابقت داشت (Samineni et al., 2011; Doraki et al., 2016 Dharam., 2018). تجزیه روابط بین صفات مورفوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شده با عملکرد دانه در جهت تعیین معیارهای انتخاب ارقام متحمل به تنش شوری است. نتایج همبستگی بیانگر رابطه منفی و معنی‌داری میان عملکرد با غلظت پرولین (** $r=0/32$)، DDPH (** $r=0/22$) و میزان سدیم (** $r=0/64$) بود. سه ژنوتیپ MCC65، MCC95 و MCC92 با دارا بودن بالاترین میزان پرولین و مهار فعالیت رادیکال DDPH، بیشترین عملکرد دانه را نیز دارا بودند که این نتایج به‌خوبی بیانگر افزایش بیومولکول‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها در شرایط تنش به‌منظور افزایش پتانسیل اسمزی و حفاظت از سلول در مقابل صدمات ناشی از تنش شوری است. رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و

کمترین جذب سدیم، بیشترین میزان پتاسیم را نیز دارا بودند. این در حالی است که این دو ژنوتیپ در گروه بیشترین تولید عملکرد دانه قرار داشتند.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اول ۴۵/۶۶ درصد از تغییرات صفات شامل شاخص پایداری غشاء، مهار رادیکال آزاد DPPH، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، تعداد و شاخه‌های اصلی را توجیه کرد (جدول ۷ و شکل ۱). مؤلفه دوم صفات درصد بقاء، کربوهیدرات‌های محلول، پتاسیم بافت، پتانسیل اسمزی، ارتفاع بوته، وزن صد دانه و عملکرد دانه را با ۱۳/۴۷ درصد توجیه کرد (جدول ۷ و شکل ۱). با توجه به قرارگیری صفت سدیم اندام هوایی و همچنین نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در خارج از دو بُعد مؤثر در تحمل به شوری مشخص می‌شود که ژنوتیپ‌های قرارگرفته در بُعد اول و دم از نظر مدیریت سدیم در اندام‌های هوایی موفق‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها عمل کرده‌اند؛ بنابراین با توجه به آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و وضعیت قرارگیری ژنوتیپ‌ها در نمودار بای‌پلات می‌توان عنوان کرد سه ژنوتیپ MCC92، MCC65 و MCC95 از تولید مناسب در شرایط تنش شوری برخوردار هستند (جدول ۷ و شکل ۱).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه مبین آن بود که شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر، رشد و عملکرد گیاه نخود را تحت تأثیر قرار می‌دهد و دارای اثرات منفی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک این گیاه بوده و در نهایت کاهش عملکرد را به همراه دارد. بر اساس مشاهدات به نظر می‌رسد سه ژنوتیپ MCC92، MCC65 و MCC95 علاوه بر توانایی بیشتر در حفظ و جذب آب، متابولیت‌های تولیدی و ذخیره بیشتری داشتند و احتمالاً از سازگاری اسمزی بالاتر و تحمل بیشتر نسبت به شوری برخوردار بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ MCC298 و MCC98 به دلیل بیشترین آسیب، حساس‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند.

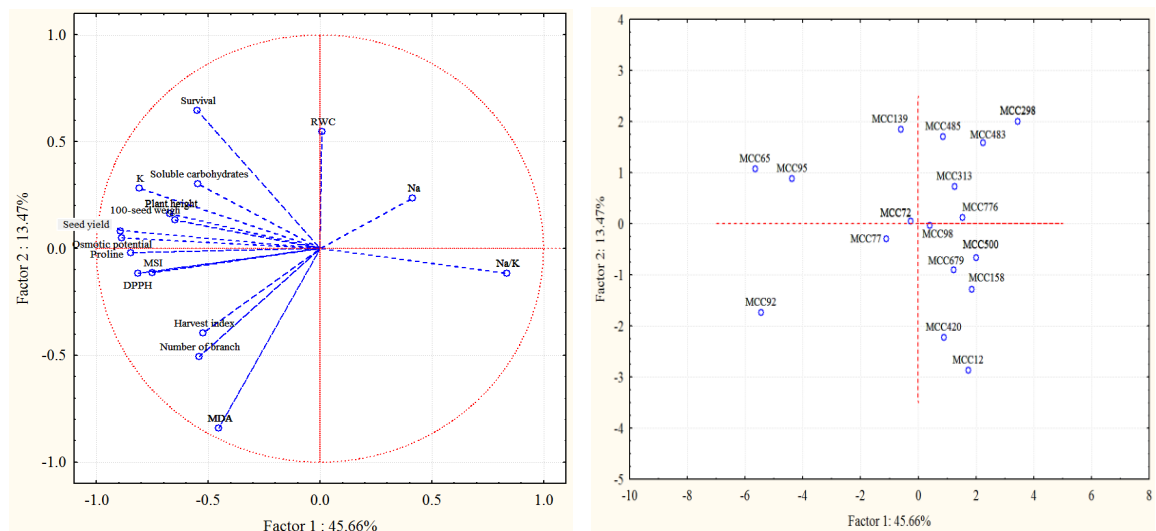
بررسی برهمکنش تنش شوری در ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی حاکی از افزایش میزان پتاسیم در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط غیر شور بود که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نیز بود (جدول ۵). دامنه تغییرات میزان پتاسیم از یک برابر در ژنوتیپ MCC420 تا ۲/۵ برابر در ژنوتیپ MCC98 متغیر بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد که دو ژنوتیپ MCC65 و MCC95 بیشترین میزان پتاسیم را به ترتیب به میزان ۱/۸۰ و ۱/۹۵ برابر دارا بودند (جدول ۶). پتاسیم یکی از مهم‌ترین کاتیون‌ها برای رشد گیاه است. پتاسیم برای اسموتیک واکوئل و به‌عنوان یک کوفاکتور آنزیمی موردنیاز می‌باشد (Kamel and El-Tayeb, 2004). با توجه به این نکته که گیاهان متحمل به شوری غلظت‌های بالایی از پتاسیم و غلظت کمی از سدیم را در سیتوسول خود نگه می‌دارند و این کار را احتمالاً با تنظیم بیان و فعالیت انتقال‌دهنده‌های سدیم و پتاسیم و پمپ هیدروژن انجام می‌دهند (Zhu., 2003). نکته قابل‌توجه این است که در این مطالعه نیز، ژنوتیپ MCC65 کمترین میزان سدیم و بیشترین میزان پتاسیم را دارا بود که به‌خوبی بیانگر این موضوع است. شباهت بین سدیم و پتاسیم منجر به رقابت برای به دست آوردن جایگاه کاتالیزوری و انتقال می‌شود. به نظر می‌رسد در گیاهان متحمل، تجمع پتاسیم می‌تواند تحمل به تنش را به همراه داشته باشد (Mian et al., 2011). پتاسیم دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با پرولین ($r=0/56^{**}$)، مالون‌دی‌آلدئید ($r=0/44^{**}$)، پتانسیل اسمزی ($r=0/63^{**}$) و سدیم ($r=0/55^*$) بود و همبستگی منفی و معنی‌داری با محتوای نسبی آب برگ ($r=-0/19^*$) و تعداد شاخه‌های جانبی ($r=-0/24^*$) داشت.

نسبت عنصر سدیم به پتاسیم با افزایش تنش شوری از نیم به هشت دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان افزایش نسبت عنصر سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ MCC483 به میزان ۱۲ برابر و کمترین میزان افزایش در دو ژنوتیپ MCC92 و MCC98 به میزان سه برابر بود (جدول ۶). دو ژنوتیپ MCC65 و MCC95 با

جدول ۷. سهم هر یک از متغیرها در دو مؤلفه برتر آزمون PCA برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های نخود

Table 7. Principal component loading for the measured trait of chickpea genotypes

Parameters	صفات	مؤلفه	
		PCA 1	PCA 2
Proportion of total variation (%)	سهم از واریانس کل	45.66	13.47
Soluble carbohydrates	کربوهیدرات‌های محلول	-0.55	0.30
Proline	پرولین	-0.85	-0.02
Osmotic potential	پتانسیل اسمزی	-0.89	0.05
DPPH	مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH	-0.82	-0.12
MDA	مالون‌دی‌آلدئید	-0.45	-0.84
MSI	شاخص پایداری غشاء	-0.75	-0.11
RWC	محتوای نسبی آب برگ	0.01	0.55
Plant height	ارتفاع بوته	-0.67	0.16
Number of branch	تعداد شاخه در بوته	-0.54	-0.51
100-seed weigh	وزن صد دانه	-0.65	0.13
Seed yield	عملکرد دانه	-0.89	0.08
Survival	بقاء	-0.55	0.65
Na	سدیم	0.41	0.24
K	پتاسیم	-0.81	0.28
Na/K	نسبت سدیم به پتاسیم	0.84	-0.11



شکل ۱. نمودار بای پلات بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم با بیشترین توجه واریانس داده‌ها.

Fig 1. Biplot based on two major principal component factors.

منابع

Abe, N., Murata, T. Hirota, A., 1998. Novel DPPH radical scavengers, bisorbicillinol and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 62, 661-666.

Ahmad, M.S.A., Ali, Q., Bashir, R., Javed, F., Alvi, A.K., 2006. Time course changes in ionic composition and total soluble carbohydrates in two barley cultivars at seedling stage under salt

- stress. *Pakistan Journal of Botany*. 38, 1457-1466.
- Ashraf, M.P.J.C., Harris, P.J.C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*. 166, 3-16.
- 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.
- Batse, L.S., Waldren, R. P., Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free Prolinee for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Dharam, V., Kumar, 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.
- Dhingra, H.R., 2007. Salinity mediated changes in yield and nutritive value of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Indian Journal of Plant Physiology*. 12, 271-275.
- 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 with English Summary].
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.T., Smith, F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28, 350-356.
- FAO., 2016. Agriculture production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Flowers, T.J., Gaur, P.M., Gowda, C.L., Krishnamurthy, L., Samineni, S., Siddique, K.H., Turner, N.C., Vadez, V.,
- Heath, R.L., Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast I Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125, 189-198.
- 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.
- 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 with English Summary].
- Kamel, M., El-Tayeb, M.A., 2004. K⁺/Na⁺ soil-plant interactions during low salt stress and their role in osmotic adjustment in faba beans. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2, 257-265.
- Kaur, P., Kaur, J., Kaur, S., Singh, S., Singh, I., 2014. Salinity induced physiological and biochemical changes in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Journal of Applied and Natural Science*. 6, 578-588.
- Khan, H.A., Siddique, K.H., Colmer, T.D., 2017. Vegetative and reproductive growth of salt-stressed chickpea are carbon-limited: sucrose infusion at the reproductive stage improves salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 68, 2001-2011.
- Khan, H.A., Siddique, K.H., Munir, R., Colmer, T.D., 2015. Salt sensitivity in chickpea: growth, photosynthesis, seed yield components and tissue ion regulation in contrasting genotypes. *Journal of Plant Physiology*. 182, 1-12.
- Mann, A., Bishi S. K., Mahatma, M. K., Kumar, A., 2015. In: *Managing Salt Tolerance in Plants. Molecular and Genomic Perspectives*. (Wani S. H. and Hossain M.A. Eds.). *Metabolomics and Salt Stress Tolerance in Plants*. CRC Press Taylor and Francis Group. P: 252-262,
- 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.
- Mian, A.A., Senadheera, P., Maathuis, F.J., 2011. Improving crop salt tolerance: anion and cation transporters as genetic engineering targets. *Plant Stress*. 5, 64-72.
- 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.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.

- Nabati, J., 2010. Effect of salinity on physiological characteristics and qualitative and quantitative traits of forage *Kochia scoparia* (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture). [In Persian].
- 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.
- Rasool, S., Ahmad, A. and Siddiqi, T.O., 2012. Differential response of chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Functional and Environmental Botany*, 2, pp.59-64.
- Roy, F., Boye, J.I., Simpson, B.K., 2010. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International*. 43, 432-442.
- Sairam, R. K., A. Tyagi., 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*. 86, 407-421.
- Samineni, S., Siddique, K.H., Gaur, P.M., Colmer, T.D., 2011. Salt sensitivity of the vegetative and reproductive stages in chickpea (*Cicer arietinum* L.): podding is a particularly sensitive stage. *Environmental and Experimental Botany*, 71, 260-268.
- Smart, R.E., Bingham, G.E., 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53, 258-260.
- Tandon, H.L.S. 1995. Methods of analysis of soils, plants, water and fertilizers. FDCO, New Delhi
- Teimouria, A., Jafarib, M., Azarnivand, H. 2009. Effect of proline, soluble carbohydrates and water potential on resistance to salinity of three *Salsola* species (*S.rigida*, *S. dendroides*, *S.richteri*). *Desert*. 14, 15-20.
- Turner, N.C., Colmer, T.D., Quealy, J., Pushpavalli, R., Krishnamurthy, L., Kaur, J., Singh, G., Siddique, K.H.,
- 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.
- Vadez, V., Rashmi, M., Sindhu, K., Muralidharan, M., Pushpavalli, R., Turner, N.C., Krishnamurthy, L., Gaur, P.M., Colmer, T.D., 2012. Large number of flowers and tertiary branches, and higher reproductive success increase yields under salt stress in chickpea. *European Journal of Agronomy*. 41, 42-51.
- Yin, Y.G., Kobayashi, Y., Sanuki, A., Kondo, S., Fukuda, N., Ezura, H., Sugaya, S., Matsukura, C., 2009. Salinity induces carbohydrate accumulation and sugar-regulated starch biosynthetic genes in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. 'Micro-Tom') fruits in an ABA-and osmotic stress-independent manner. *Journal of Experimental Botany*, 61, 563-574.
- Zaccardelli, M., Sonnante, G., Lupo, F., Piergiovanni, A.R., Laghetti, G., Sparvoli, F., Lioi, L., 2013. Characterization of Italian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm by multidisciplinary approach. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60, 865-877.
- Zhu, J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*. 6, 441-445.