نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۲ شماره ۲، صفحه ۹۶-۸۳، نیمه دوم ۱۳۹۰

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 2, No. 2, 2011, p. 83-96

بررسی تحمل به شوری ریشه و شاخسارهٔ یازده ژنوتیپ نخود متحمل و حساس به خشکی در شرایط هیدروپونیک

محمد زارع مهرجردی[1*]، جعفر نباتی[2]، علی معصومی[3]، عبدالرضا باقری[4] و محمد کافی[5]

۱- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی شیروان، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دکتری فیزیولوژی زراعی، شرکت فن‌آوران بذر یکتا
۳- استادیار دانشگاه پیام نور
۴- استاد گروه بیوتکنولوژی و بِه‌نژادی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۱/۱۸

چکیده

شوری به عنوان یک تنش محیطی مهم و مشکل عمده در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است. گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) مشابه با سایر بقولات، نسبت به شوری حساس است و در نتیجه، گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری برای کشت در این مناطق از اهمیت زیادی برخوردار است. این آزمایش در سال ۱۳۸۸ در شرایط گلخانه با هدف مطالعهٔ تحمل به تنش شوری در یازده ژنوتیپ نخود از طریق بررسی پاسخ خصوصیات ریشه و اندام‌های هوایی آن‌ها انجام شد. برای این منظور، تأثیر دو تیمار شوری القاءشده با استفاده از نمک کلریدسدیم در سطوح ۸ و ۱۲دسی‌زیمنس بر متر به همراه تیمار شاهد (بدون تنش شوری) در محیط هیدروپونیک (کرت اصلی) بر روی ژنوتیپ‌های مورد نظر (کرت فرعی) در شرایط گلخانه، در قالب کرت‌های خُردشده در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. گیاهان، چهار هفته پس از انتقال به محیط هیدروپونیک برداشت شدند. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار شاخص پایداری غشاء، سطح سبز برگ، درصد مادهٔ خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع بوته، تعداد شاخهٔ جانبی و وزن خشک اندام هوایی و ریشه و افزایش مقدار نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. شاخص پایداری غشاء (۰/۷۳ و ۰/۶۱) و نسبت سطح سبز برگ به کل سطح برگ (۰/۶۸ و ۰/۵۶) همبستگی مثبت و معنی‌داری به ترتیب با میزان تولید مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه در ژنوتیپ‌ها داشتند. بهره‌گیری از شاخص‌های مقاومت و ترسیم نمودار بای‌پلات نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های MCC696، MCC544 و MCC877 کمترین و ژنوتیپ MCC760 بیشترین میزان مقاومت به شوری را از نظر تولید مادهٔ خشک و شاخص‌های تحمل دارا بودند. در این مطالعه به غیر از ژنوتیپ MCC783، ژنوتیپ‌های حساس به خشکی در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به شوری قرار گرفتند. بنابراین به نظر می‌رسد لزوماً ژنوتیپ‌هایی که متحمل به خشکی هستند از تحمل به شوری بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس به خشکی برخوردار نیستند. به طور کلی به منظور دستیابی به ارقام نخود که علاوه بر تحمل به خشکی، متحمل به شوری نیز باشند، ژنوتیپ‌ها باید برای هر دو صفت مورد گزینش قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: اندام هوایی، ریشه، شاخص‌های کمّی تحمل، مقدار نسبی آب برگ، نخود

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش های محیطی است که تولید محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری از طریق عوامل طبیعی و یا اعمال مدیریت ناصحیح مزرعه، در اثر تجمع نمک‌های محلول در آب و خاک رخ می‌دهد. اگرچه کاهش اثرات شوری از طریق اضافه‌کردن ترکیبات اصلاح‌کننده، شیوه‌های آبیاری مناسب و اصلاح ارقام مقاوم امکان پذیر است، هزینه این فعالیت‌ها بسیار بالا بوده و به‌علاوه تلاش در جهت تولید ارقام اصلاح‌شده برای تحمل به تنش شوری از موفقیت کمی برخوردار بوده است (Flowers and Flowers, 2005). در ایران نیز به‌خصوص در مناطق حاشیهٔ کویرهای مرکزی، به‌دلیل کاهش نزولات جوی، کمیت و کیفیت آب کشاورزی به‌سرعت رو به کاهش است. به این دلیل، گزینش ارقامی که علاوه بر تحمل به خشکی، به شوری نیز متحمل باشند از اهمیت چشمگیری برخوردار است.

نخود یکی از حبوبات مهم است که در ۳۵کشور جهان از

* **نویسنده مسئول:** مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی
تلفن: ۰۹۳۵۹۹۲۶۷۲۰، پُست الکترونیک: mzarem1381@yahoo.com

جمله ایران به صورت تجاری کشت می‌شود. مهم‌ترین ویژگی اقتصادی نخود، درصد بالای پروتئین دانهٔ آن است (۲۵/۳ تا ۲۸/۹درصد) که می‌تواند جایگاه مناسبی در تغذیهٔ انسان و دام داشته باشد (Hulse, 1991). نخود مانند سایر لگوم‌ها از تحمل به شوری کمی برخوردار است (Ashraf & Waheed, 1993). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که شوری، عملکرد و کیفیت محصول نخود را حتی در ارقام متحمل کاهش می‌دهد (Asha, 2007). اگرچه ارقام زراعی نخود دارای تنوع ژنتیکی کمی می‌باشند (Berger *et al.*, 2003)، مطالعه بر روی ارقام جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف شامل شمال آفریقا، جنوب آسیا و خاورمیانه از جمله ایران نشان داده است که گزینش ارقام متحمل به شوری در خزانهٔ ژنتیکی نخود، احتمالاً با موفقیت خوبی همراه است (Maliro *et al.*, 2004).

در کنار وجود تنوع در خزانه ژنتیکی، لزوم فهم درست از فرایندهای فیزیولوژیک و موفولوژیک در پاسخ به تنش، در طراحی شیوه‌های اصلاحی برای دستیابی به ارقام متحمل به شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Hoisington *et al.*, 1999, Miflin, 2000; Bruce *et al.*, 2002). در مطالعات مختلف، خصوصیاتی مثل عملکرد، قدرت بقاء، میزان خسارت برگ و ارتفاع گیاه به عنوان یک معیار عمومی برای گزینش ارقام متحمل به شوری مورد استفاده قرار گرفته است (Shannon, 1984; Gamma, 2008). تنش شوری، از دو طریق ایجاد تنش اُسمزی و تنش سمیت یونی، بر روی فرایندهای فیزیولوژیک گیاه تأثیر گذاشته و به کاهش رشد گیاه منجر می‌شود (Munns & Tester, 2008). مقادیر بالای نمک در خاک به دلیل ایجاد پتانسیل اُسمزی، سبب می‌شود تا میزان جذب آب توسط ریشه کاهش یابد و در نتیجه پتاسیل آب در سلول‌ها کم شود و گیاه با تنش خشکی رو برو گردد (Munns & Tester, 2008; Yoko *et al.*, 2002). در نتیجهٔ این تنش اولیهٔ ناشی از تنش شوری، تنش های ثانویه نظیر تنش اُکسیداتیو نیز ممکن است بروز کنند که در این حالت، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن به اُکسیدشدن پروتئین‌ها و لیپیدها و در نتیجه مرگ سلول منجر می‌شود (Molassiotis *et al.*, 2006). مجموع این فرایندها، علاوه بر ایجاد خسارت در بافت‌های گیاهی، به کاهش کارآیی فتوسنتز و متابولیسم کربن و در نتیجه کاهش میزان تولید گیاه منجر می‌شود (Ferri *et al.*, 2000; Garg & Singla, 2004).

در آزمایش‌های مختلف برای گزینش ارقام متحمل به تنش، محققان به دنبال ژنوتیپ‌هایی هستند که هم در شرایط تنش و هم بدون تنش دارای عملکرد بالا باشند. برای این منظور، شاخص‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس عملکرد پیشنهاد شده است (Fernandez, 1998). این شاخص‌ها، در مطالعات مختلف برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به شوری مورد استفاده قرار می گیرند که از آن جمله می‌توان به استفاده از شاخص تحمل به تنش (STI) برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در نخود اشاره کرد (Serraj *et al.*, 2004).

با توجه به اهمیت انتخاب ارقام متحمل به شوری برای کشت در شرایط تنش خشکی و با توجه به شباهت‌های موجود بین مسیر خسارت‌زایی تنش خشکی و شوری بر گیاه، این مطالعه با هدف بررسی تحمل به شوری یازده ژنوتیپ مختلف نخود که پاسخ متفاوت به خشکی داشتند، به منظور ارزیابی پاسخ صفات مختلف ریشه و اندام هوایی به تنش شوری و بررسی ارتباط بین تحمل به خشکی و شوری در این ژنوتیپ‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

بر اساس نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای، یازده ژنوتیپ نخود متنوع از لحاظ تحمل به خشکی انتخاب و بذر آن‌ها از بانک بذر حبوبات پژوهشکدهٔ علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد (Saxena *et al.*,1993; Sedaghatkhahi, 2007; Ganjeali *et al.*, 2009) (جدول۱). بذرها به مدت سه‌روز بر روی کاغذ صافی مرطوب شده با آب، در پتری‌دیش‌های با قطر نُه سانتی‌متر جوانه‌دار شدند. این گیاهچه‌ها، در دی‌ماه به منظور رشد به محیط هیدروپونیک در گلخانه با دمای متوسط ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و بدون نور مصنوعی، منتقل شدند. سیستم هیدروپونیک مورد استفاده، شامل لوله‌هایی از جنس پلی‌ونیل کلراید (PVC) با قطر شِش سانتی‌متر و طول ۱/۵ متر بود که با فاصله ۵۰ سانتی‌متری از یکدیگر به صورت افقی قرار گرفته بودند. بر روی این لوله‌ها، منافذی با فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر تعبیه شده بود که گیاهچه‌های تولیدشده در این سوراخ‌ها مستقر شدند. هر یک از لوله‌ها، با سه لیتر محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1950) پُر شده بود که هر دو هفته یک‌بار تا پایان آزمایش تعویض می‌شد. دو هفته پس از انتقال گیاهچه‌ها به محیط هیدروپونیک، به منظور تعیین میزان تحمل به شوری ژنوتیپ‌ها، تیمار تنش شوری بر روی آن‌ها اعمال شد. برای این منظور، تیمار تنش شوری با استفاده از نمک کلریدسدیم در دو سطح ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (dSm^{-1}) اعمال شد. جهت جلوگیری از واردشدن تنش شدید، تنش به صورت تدریجی و با نرخ یک dSm^{-1} در روز اعمال شد. دو هفته پس از اعمال تیمارها، ارتفاع بوته، طول ریشهٔ اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و سطح سبز برگ (با استفاده از آنالیز تصویری بر روی تصاویر اسکن‌شده، پس از جُداسازی اندام‌ها) و نسبت سطح

سبز برگ به کل سطح برگ اندازه‌گیری شد. همچنین مقدار نسبی آب برگ (RWC) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته، از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

RWC= ((وزن خشک – وزن آماس)/(وزن خشک – وزن تر))×۱۰۰

به منظور تعیین درصد مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌های تَر اندام هوایی و ریشه پس از وزن‌شدن به درون آوِن ۸۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت منتقل شد تا خشک شوند. در ادامه، وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری و درصد مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه محاسبه شد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، منشأ و برخی از خصوصیات آن‌ها

Table 1. Used chickpea genotypes, their origin and their properties

ردیف No.	شناسه در بانک بذر Seed bank ID	منشاء Origin	پاسخ به خشکی Response to drought	وضعیت گل‌دهی Flowering	منبع Reference
1	MCC333 (Flip87-84c)	ایکاردا-ICARDA	متحمل-T	حد واسط - MF	Sedaghatkhahi, 2007
2	MCC544	ایران-Iran	متحمل-T	زودگل - EF	Ganjeali *et al.*,2009
3	MCC674	ایران-Iran	حساس-S	زودگل - EF	Ganjeali *et al.*,2009
4	MCC753 (Sel96TH11439)	ایکاردا-ICARDA	حساس-S	حد واسط - MF	Sedaghatkhahi, 2007
5	MCC759 (Flip97-41c)	ایکاردا-ICARDA	حساس-S	دیرگل - LF	Ganjeali *et al.*,2009
6	MCC760 (Flip97-43c)	ایکاردا-ICARDA	متحمل-T	زودگل - EF	Ganjeali *et al.*,2009
7	MCC770 (Flip97-91c)	ایکاردا-ICARDA	متحمل-T	حد واسط - MF	Ganjeali *et al.*,2009
8	MCC773 (Flip97-97c)	ایکاردا-ICARDA	حساس-S	زودگل - EF	Sedaghatkhahi, 2007
9	MCC783 Flip97-120c)	ایکاردا-ICARDA	حساس-S	دیرگل - LF	Ganjeali *et al.*,2009
10	MCC806 (Flip97-196c)	ایکاردا-ICARDA	حساس-S	دیرگل - LF	Ganjeali *et al.*,2009
11	MCC877 (ICC4958)	ایکریست-ICRISAT	متحمل-T	زودگل - EF	Saxena *et al.*,1993

Abb.: MCC: Mashhad Chickpea Collection, T: Drought Tolerant, S: Drought susceptible, EF: Early Flowering, MF: Mid Flowering, LF: Late Flowering

شاخص پایداری غشاء، از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. برای این منظور نمونه‌های برگ به درون آب مقطر با حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس میزان هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه، به عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد. نشت ثانویه نیز از طریق اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از حرارت‌دادن آن‌ها به مدت یک‌ساعت و در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشاء از طریق رابطهٔ زیر محاسبه شد (Sairam *et al.*, 2002).

شاخص پایداری غشاء= (۱-(نشت ثانویه/ نشت اولیه))×۱۰۰

همچنین با استفاده از روابط ریاضی زیر، شاخص‌های مختلف ارزیابی میزان تحمل به شوری بر اساس مقدار تولید زیست‌توده (وزن خشک اندام هوایی و ریشه) و به صورت مجزا، برای هر یک از تیمارهای تنش ۸ و ۱۲ dSm^{-1} نسبت به تیمار شاهد محاسبه شد:

۱) شاخص تحمل $TOL^{1} = Y_p - Y_s$

۲) شاخص بهره‌وری متوسط $MP^{2} = (Y_p + Y_s)/2$

۳) شاخص حساسیت به تنش $SSI^{3} = (1-Y_s/Y_p)/(1-\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$

۴) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری $GMP^{4} = (Y_p \times Y_s)^{0.5}$

۵) شاخص تحمل به تنش $STI^{5} = (Y_p \times Y_s)/(\bar{Y}_p)^{2}$

در معادلات فوق: Y_s: تولید مادهٔ خشک ژنوتیپ در شرایط تنش، Y_p: تولید مادهٔ خشک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، $\bar{Y}_p$: میانگین تولید مادهٔ خشک کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، $\bar{Y}_s$: میانگین تولید مادهٔ خشک کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش می‌باشد.

1. Stress tolerance
2. Mean productivity
3. Stress susceptibility index
4. Geometric mean productivity
5. Stress tolerance index

همهٔ آنالیزهای آماری بر اساس آزمایش کرت‌های خُردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، تیمارهای شوری در کرت اصلی و ژنوتیپ‌ها در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها بر اساس مقایسات چنددامنه‌ای دانکن و LSD صورت پذیرفت. در نهایت بر اساس میزان تولید مادهٔ خشک در هر یک از تیمارها، شاخص‌های تحمل محاسبه شد و با استفاده از نمودارهای پراکنش سه‌بُعدی و بای‌پلات، ژنوتیپ‌های برتر از نظر تولید مادهٔ خشک بیشتر، شناسایی شدند و در ادامه، همبستگی بین صفات، تعیین شد و میزان و چگونگی روابط بین آن‌ها بررسی گردید. برای تعیین روابط بین صفات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودارها، از نرم‌افزارهای JMP، STATISTICA و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اعمال تیمار شوری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول ریشهٔ اصلی، تعداد شاخهٔ جانبی، شاخص پایداری غشاء، سطح سبز برگ، شاخص مادهٔ خشک اندام هوایی، شاخص مادهٔ خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه و متعاقب آن کاهش میزان تولید مادهٔ خشک در ژنوتیپ‌ها شد. مقدار آب نسبی برگ در پاسخ به اعمال تیمار تنش شوری افزایش یافت و نسبت ریشه به ساقه در سطح شوری dSm^{-1} ۸ نسبت به شاهد و dSm^{-1} ۱۲ به طور معنی‌داری کمتر بود (جدول ۳).

از نظر ارتفاع بوته، ژنوتیپ‌ها در تیمارهای مورد مطالعه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. ژنوتیپ‌های MCC333 و MCC773 کمترین ارتفاع بوته و ژنوتیپ MCC877 بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داده بودند (جدول ۲). در این ارتباط نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های MCC544، MCC674، MCC696، MCC760، MCC783 و MCC877 شد که به‌جُز ژنوتیپ MCC783، بقیه این ژنوتیپ‌ها دارای ارتفاع بوتهٔ بیشتری در شرایط شاهد نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند (جدول۲). ارتفاع بوته در نخود از نظر شاخص‌هایی نظیر امکان برداشت مکانیزه و همچنین عملکرد دانه بیشتر حائز اهمیت است. در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌هایی که از متوسط ارتفاع بوتهٔ بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند مانند MCC544، MCC696 و MCC877، به عنوان ژنوتیپ‌های مستعد برای کشت در مناطق خشک معرفی شده‌اند و جزو ژنوتیپ‌های زودرس به شمار می‌روند (Saxena *et al.*,1993; Ganjeali *et al.*, 2009). به نظر می‌رسد شوری با تأثیر بر ارتفاع بوته و کاهش آن، با توجه به وجود همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته در نخود (Upadhyaya *et al.*, 2002)، می‌تواند در کاهش عملکرد این گیاه در شرایط تنش شوری مؤثر باشد.

در بین ژنوتیپ‌ها، از نظر متوسط طول ریشهٔ اصلی در تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. با این حال در ژنوتیپ‌های MCC544، MCC696، MCC773 و MCC783 اعمال تیمار شوری dSm^{-1} ۱۲ به دلیل کاهش رشد، باعث کاهش معنی‌دار طول ریشهٔ اصلی در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول۲). مطالعات نشان داده که طول ریشه در نخود در توانایی جذب آب از لایه‌های پایین‌تر خاک از اهمیت برخوردار است. برای نمونه، مطالعه بر روی پراکنش توسعهٔ ریشه نخود در خاک مشخص کرده که تراکم ریشه در لایه ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش خشکی دارد (Kashiwagi *et al.*, 2006). در این ارتباط به نظر می‌رسد که تنش شوری با تأثیر بر طول ریشه در نخود، توانایی گیاه در جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک را تحت تأثیر قرار دهد و در شرایط زراعی گیاه علاوه بر تنش شوری با تنش خشکی نیز مواجه شود.

تعداد شاخه جانبی نیز به عنوان یکی از اجزای عملکرد در میزان تولید در نخود مؤثر است. در این ارتباط، بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. بیشترین تعداد شاخه در ژنوتیپ‌های MCC760، MCC773 و MCC783 و کمترین میزان شاخهٔ جانبی در ژنوتیپMCC877 مشاهده شد. در ژنوتیپ‌های MCC544، MCC674، MCC759، MCC783 وMCC806 تیمار شوری اعمال شده در سطح ۸ یا dSm^{-1} ۱۲ باعث کاهش معنی‌دار تعداد شاخهٔ جانبی نسبت به تیمار شاهد شد، در حالی‌که در سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (جدول۲). دلیل این امر احتمالاً کاهش ارتفاع و کاهش رشد در اثر تنش شوری می‌باشد (Mudgal *et al.*, 2009; Kalefetoglu *et al.*, 2009).

گزارش‌های متعددی در ارتباط با تأثیر شوری بر کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه در نخود وجود دارد (Mudgal *et al.*, 2009; Kalefetoglu *et al.*, 2009). همچنین از این نظر، وجود تنوع نیز در بین ژنوتیپ‌های نخود گزارش شده است (Serraj *et al.*, 2004). در این آزمایش نیز مادهٔ خشک اندام هوایی در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار داشت به‌طوری‌که

بیشترین مقدار مادهٔ خشک اندام هوایی در ژنوتیپ MCC760 با ۰/۵۹ گرم در بوته و کمترین مقدار در ژنوتیپ MCC696 با ۰/۳۴ گرم در بوته مشاهده شد. در میان ژنوتیپ‌ها، اعمال تیمار شوری به‌جُز در ژنوتیپ‌های MCC333، MCC696 و MCC770، باعث کاهش معنی‌دار در مقدار مادهٔ خشک اندام هوایی شد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر وزن خشک ریشه نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول۳). در این ارتباط، به طور میانگین ژنوتیپ MCC783 بیشترین (۰/۱۹ گرم در بوته) و ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC696 کمترین (۰/۱۳ گرم در بوته) وزن خشک ریشه را به خود اختصاص دادند. از این نظر نیز به‌جُز در ژنوتیپ‌های MCC333 و MCC806، در بقیهٔ ژنوتیپ‌ها اعمال تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار در وزن خشک ریشه شد (جدول۳). Singla & Garg (2005) نیز گزارش کردند که با افزایش شوری، وزن خشک اندام هوایی و ریشه ارقام نخود کاهش می‌یابد. Munns & Tester (2008) گزارش کردند که رشد گیاهان تحت تنش شوری ممکن است به دلیل کاهش آب قابل‌دسترس یا سمیت کلریدسدیم کاهش یابد. نتایج نشان داد که نسبت ریشه به ساقه در بین ژنوتیپ‌ها که در مطالعات خشکی به عنوان یک متغیر مؤثر در توانایی جذب آب توسط گیاه مورد بررسی قرار می‌گیرد، اختلاف معنی‌دار داشت. بیشترین نسبت ریشه به ساقه در ژنوتیپ MCC544 و کمترین نسبت در ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC763 مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲- اثر سطوح تنش شوری بر ارتفاع بوته، طول ریشهٔ اصلی و تعداد شاخه در بوتهٔ یازده ژنوتیپ نخود

Table 2. Effect of salt stress levels on plant height, main root length and branch number in 11 chickpea genotypes

تعداد شاخه جانبی Branch number				طول ریشه (سانتی‌متر) Main root length (cm)				ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)				ژنوتیپ
میانگین Mean	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	میانگین Mean	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	میانگین Mean	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	Genotype
4.4a	4.0	4.0	5.3	**27.8a**	22.0	32.3	29.0	**12.8e**	12.3	12.3	13.7	**MCC333**
3.6ab	3.3	2.7	4.7	**31.8a**	22.0	35.7	37.7	**15.8bc**	14.0	15.3	18.0	**MCC544**
3.9ab	2.7	4.3	4.7	**32.1a**	25.3	33.0	38.0	**16.4ab**	16.0	14.7	18.7	**MCC674**
3.9ab	3.0	4.3	4.3	**30.4a**	20.7	28.3	42.3	**15.6bc**	13.0	16.0	17.7	**MCC696**
3.9ab	2.7	4.0	5.0	**33.6a**	34.7	31.3	34.7	**13.5de**	13.3	13.0	14.2	**MCC759**
4.6a	4.0	4.3	5.3	**33.4a**	31.0	34.7	34.7	**15.7bc**	12.7	15.7	18.7	**MCC760**
4.4a	4.0	3.7	5.7	**37.9a**	36.7	41.7	35.3	**14.6cd**	14.0	13.7	16.0	**MCC770**
4.6a	3.7	5.0	5.0	**29.1a**	23.7	23.7	40.0	**12.7e**	12.3	12.3	13.3	**MCC773**
4.6a	2.7	4.3	6.7	**31.7a**	20.7	27.3	47.0	**12.9de**	11.3	12.3	15.0	**MCC783**
4.1ab	2.3	4.7	5.3	**30.9a**	27.7	35.3	29.7	**13.2de**	11.7	13.7	14.3	**MCC806**
3.0b	2.7	2.0	4.3	**28.6a**	24.3	29.7	31.7	**17.8a**	15.7	17.0	20.7	**MCC877**
LSD=1.7	**3.2b**	**3.9ab**	**5.1a**	**LSD=15.2**	**26.2b**	**32.1ab**	**36.4a**	**LSD=2.6**	**13.3c**	**14.2b**	**16.4a**	**میانگینMean**

مقایسه میانگین اثرات ساده بر اساس آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن (حروف) در سطح ۰/۰۵. مقدار LSD برای مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح ۰/۰۵

Simple effect mean comparison: based on Duncan's multiple-range test; significant difference at 5% level of probability.
Interaction compare with LSD, significant difference at 5% level of probability.

تحت شرایط تنش شوری، غشاء سلولی دچار تغییراتی می‌شود که نشت‌پذیری آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Blokhina *et al*., 2003). بر این اساس، توانایی غشاء سلول در کنترل ورود و خروج مواد به سلول، برای بررسی خسارت در بافت‌ها مورد استفاده قرارگرفته است. در این ارتباط، ژنوتیپ‌ها از نظر میزان شاخص پایداری غشاء دارای تنوع بودند و ژنوتیپ MCC773 با ۷۴/۹ درصد، بیشترین و ژنوتیپMCC877 با ۳۴/۱ درصد، کمترین پایداری غشاء را در تیمارهای مورد مطالعه به خود اختصاص دادند (جدول ۴). اگرچه در تمامی ژنوتیپ‌ها، اعمال تنش شوری ۸ dSm^{-1} نسبت به شاهد باعث کاهش شاخص پایداری غشاء شد، این کاهش در ژنوتیپ‌های MCC760 و MCC773 معنی‌دار نبود. در تیمار ۱۲ dSm^{-1} بیشترین شاخص پایداری غشاء معادل ۵۴/۸ درصد به ژنوتیپ MCC773 تعلق داشت که احتمالاً با توجه به شاخص پایداری بالای غشاء، این ژنوتیپ از مقاومت به شوری بیشتری در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برخوردار باشد. افزایش تجمع پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها در اثر شوری، موجب کاهش پایداری غشاء در گیاهان می‌گردد (Farooq & Azam, 2006). شاخص پایداری غشاء و پراکسیداسیون لیپیدها به عنوان شاخصی برای ارزیابی صدمات شوری و تحمل به شوری در گیاهان استفاده می‌شود (Farooq & Azam, 2006). کاهش شاخص پایداری غشاء در اثر شوری توسط محققان مختلف گزارش شده است (Farooq & Azam, 2006; Azizpour *et al*., 2010).

جدول ۳- اثر تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی یازده ژنوتیپ نخود

Table 3. Effect of salt stress on shoot dry weight, root dry weight and root to shoot ratio in 11 chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	وزن خشک اندام هوایی (گرم بر بوته) Shoot dry weight (g.plant^{-1})				وزن خشک ریشه (گرم بر بوته) Root dry weight (g.plant^{-1})				نسبت ریشه به اندام هوایی Root to shoot ratio			
	شاهد Control	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	میانگین Mean	شاهد Control	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	میانگین Mean	شاهد Control	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	میانگین Mean
MCC333	0.55	0.39	0.38	**0.44bcd**	0.17	0.13	0.16	**0.15ab**	0.30	0.33	0.43	**0.35bc**
MCC544	0.49	0.32	0.21	**0.34d**	0.22	0.11	0.09	**0.14ab**	0.46	0.33	0.61	**0.47a**
MCC674	0.66	0.47	0.29	**0.48abc**	0.25	0.16	0.14	**0.19ab**	0.39	0.34	0.59	**0.44ab**
MCC696	0.43	0.35	0.25	**0.34d**	0.19	0.11	0.09	**0.13ab**	0.46	0.31	0.37	**0.38abc**
MCC759	0.64	0.50	0.30	**0.48abc**	0.23	0.15	0.13	**0.17ab**	0.37	0.31	0.42	**0.37bc**
MCC760	0.80	0.54	0.41	**0.59a**	0.24	0.15	0.14	**0.18ab**	0.30	0.28	0.34	**0.31c**
MCC770	0.56	0.38	0.38	**0.44bcd**	0.26	0.12	0.14	**0.17ab**	0.44	0.33	0.37	**0.38abc**
MCC773	0.61	0.44	0.35	**0.47abc**	0.22	0.13	0.14	**0.16ab**	0.36	0.32	0.39	**0.36bc**
MCC783	0.81	0.43	0.30	**0.51ab**	0.32	0.15	0.09	**0.19a**	0.40	0.35	0.31	**0.35bc**
MCC806	0.74	0.44	0.37	**0.51ab**	0.24	0.16	0.15	**0.18ab**	0.34	0.36	0.39	**0.36bc**
MCC877	0.54	0.30	0.31	**0.38cd**	0.19	0.09	0.11	**0.13b**	0.36	0.30	0.37	**0.34c**
میانگین Mean	**0.62a**	**0.41b**	**0.32c**	**LSD=0.19**	**0.23a**	**0.13b**	**0.13b**	**LSD=0.09**	**0.38a**	**0.32b**	**0.42a**	**LSD=0.13**

مقایسه میانگین اثرات ساده بر اساس آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن (حروف) در سطح ۰/۰۵. مقدار LSD برای مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح ۰/۰۵.

Simple effect mean comparison: based on Duncan's multiple-range test; significant difference at 5% level of probability.
Interaction compare with LSD, significant difference at 5% level of probability.

شوری می‌تواند از طریق دهیدراته‌شدن سلولی و کاهش توسعهٔ برگ (Bernstein *et al.*,1993) و همچنین نکروزشدن برگ‌ها و ریزش آن‌ها به واسطهٔ سمیت یونی، سطح سبز برگ در گیاه را کاهش دهد (Munns & Tester, 2008). در نخود نیز کاهش سطح برگ در پاسخ به شوری گزارش شده است (Beinsan *et al.*, 2009). نتایج بررسی سطح سبز برگ و نسبت سطح سبز به سطح کل برگ در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که با وجود معنی‌دار نبودن اختلاف بین سطح سبز برگ در ژنوتیپ‌ها، نسبت سطح سبز برگ به سطح کل برگ دارای اختلاف معنی‌دار بود. در این ارتباط ژنوتیپ MCC770 با ۰/۹۰ بیشترین نسبت سطح سبز به سطح کل برگ و ژنوتیپ MCC806 با ۰/۷۰ کمترین نسبت را در بین ژنوتیپ‌ها به صورت میانگین در تیمارهای مورد مطالعه به خود اختصاص دادند (جدول۴). در تیمار ۸ dSm^{-1}، بیشترین نسبت سطح سبز به سطح کل برگ با ۰/۹۰ به ژنوتیپ MCC674 و کمترین نسبت با ۰/۸۰ به ژنوتیپ MCC877 تعلق داشت در حالی‌که در تیمار ۱۲ dSm^{-1} بیشترین نسبت سطح سبز به سطح کل برگ با ۰/۸۷ متعلق به ژنوتیپ MCC770 و کمترین مقدار با ۰/۲۶ به ژنوتیپ MCC806 تعلق داشت.

ژنوتیپ‌ها از نظر مقدار نسبی آب برگ با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. کمترین میانگین آب نسبی برگ در ژنوتیپ MCC333 و بیشترین مقدار در ژنوتیپ MCC877 مشاهده شد (جدول ۵). در ژنوتیپ‌های MCC544، MCC674، MCC696 و MCC877 افزایش معنی‌دار در مقدار نسبی آب برگ در تیمار ۱۲ dSm^{-1} در مقایسه با شاهد مشاهده شد. اگرچه در برخی از مطالعات، کاهش مقدار آب برگ در واکنش به تنش شوری گزارش شده است (Lopez *et al.*, 2002)، برخی از گزارش‌ها نیز از افزایش مقدار آب برگ در پاسخ به تنش شوری حکایت دارد (Shaddad *et al.*, 1990; Abdel-Samed & Shaddad, 1997). در این ارتباط کاهش مقدار آب برگ در شرایط مزرعه می‌تواند تحت تأثیر کاهش رشد ریشه و ضعف گیاه در پاسخ به شوری باشد (Lopez *et al.*, 2002). به نظر می‌رسد که در این آزمایش، افزایش تجمع نمک در بافت برگ‌ها در این ژنوتیپ‌ها و متعاقب آن جذب بیشتر آب برای تعدیل پتانسیل اُسمزی منفی ایجاد شده، دلیل این افزایش در مقدار نسبی آب برگ در این ژنوتیپ‌ها باشد. این افزایش جذب آب به واسطهٔ تجمع نمک در بافت‌ها به خوبی در شاخص مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه مشهود بود و به کاهش آن ها در پاسخ به تنش شوری منجر شد (جدول۵). از نظر شاخص مادهٔ خشک اندام هوایی نیز در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. از این

نظر، ژنوتیپ MCC333 بیشترین شاخص مادهٔ خشک اندام هوایی و ژنوتیپ‌های MCC544 و MCC877 کمترین میزان مادهٔ خشک اندام هوایی را دارا بودند. شاخص مادهٔ خشک ریشه نیز در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. همانند شاخص مادهٔ خشک اندام هوایی، بیشترین شاخص مادهٔ خشک ریشه در ژنوتیپ MCC333 و کمترین مقدار در ژنوتیپ MCC877 مشاهده شد.

جدول ۴- اثر تنش شوری بر شاخص پایداری غشاء، سطح سبز برگ و نسبت سطح سبز به کل سطح برگ یازده ژنوتیپ نخود

Table 4. Effect of salt stress on membrane stability index, green leaf area and green to total leaf area ratio in 11 chickpea genotypes

ژنوتیپ Genotype	شاخص پایداری غشاء (درصد) Membrane stability index (%)				سطح سبز (سانتی‌متر مربع) Green area (cm^2)				نسبت سطح سبز به کل سطح برگ Green to total leaf area ratio			
	شاهد Control	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	میانگین Mean	شاهد Control	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	میانگین Mean	شاهد Control	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	میانگین Mean
MCC333	95.1	41.3	26.0	**54.1bc**	47.6	27.3	23.8	**32.9a**	0.95	0.81	0.77	**0.84ab**
MCC544	97.4	26.5	16.8	**46.9bc**	49.8	24.5	13.9	**29.4a**	0.96	0.87	0.44	**0.76cd**
MCC674	93.8	51.0	9.0	**51.3bc**	69.9	39.2	13.7	**40.9a**	0.96	0.90	0.76	**0.87a**
MCC696	87.4	49.1	19.6	**52.0bc**	43.8	29.3	13.4	**28.8a**	0.92	0.84	0.57	**0.78bcd**
MCC759	87.6	52.6	14.0	**51.4bc**	63.9	27.4	19.3	**36.9a**	0.97	0.82	0.82	**0.87a**
MCC760	81.6	62.1	19.1	**54.3bc**	69.4	37.0	25.9	**44.1a**	0.96	0.87	0.81	**0.88a**
MCC770	96.1	40.3	48.5	**61.6ab**	52.6	22.3	26.0	**33.7a**	0.96	0.86	0.87	**0.90a**
MCC773	92.6	78.3	53.8	**74.9a**	61.1	37.1	20.4	**39.5a**	0.96	0.89	0.82	**0.89a**
MCC783	90.5	47.3	17.9	**51.9bc**	71.3	25.5	7.4	**34.7a**	0.94	0.86	0.52	**0.77bcd**
MCC806	94.3	46.4	27.0	**55.9ab**	70.7	33.4	13.4	**39.2a**	0.96	0.87	0.26	**0.70d**
MCC877	73.7	20.0	8.5	**34.1c**	62.7	29.9	20.1	**37.6a**	0.96	0.80	0.64	**0.80abc**
میانگین Mean	**90.0a**	**46.8b**	**23.7c**	**LSD=30**	**60.3a**	**30.3b**	**17.9c**	**LSD=20.5**	**0.95a**	**0.85b**	**0.66c**	**LSD=0.12**

مقایسه میانگین اثرات ساده بر اساس آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن (حروف) در سطح ۰/۰۵. مقدار LSD برای مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح ۰/۰۵.

Simple effect mean comparison: based on Duncan's multiple-range test; significant difference at 5% level of probability.
Interaction compare with LSD, significant difference at 5% level of probability.

همان‌طور که انتظار می‌رفت بررسی همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین اجزای عملکرد مادهٔ خشک از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخهٔ جانبی، طول ریشهٔ اصلی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و سطح سبز برگ با وزن خشک کل وجود داشت. به‌علاوه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص پایداری غشاء و شاخص مادهٔ خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت سطح سبز به کل سطح برگ با وزن خشک کل مشاهده شد (جدول۶). در مقابل، مقدار آب نسبی برگ با وزن خشک کل همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. پیش‌تر نیز وجود چنین همبستگی در گیاه *Setaria italic* گزارش شده است (Sreenivasulu *et al.*, 2000).

با توجه به همبستگی پایداری غشاء با میزان تولید در ژنوتیپ‌ها به نظر می‌رسد که بتوان از این متغیر برای گزینش سریع‌تر پاسخ ژنوتیپ‌ها به خشکی استفاده کرد. به علاوه با توجه به همبستگی معنی‌دار نسبت سطح سبز به سطح کل با میزان مادهٔ خشک تولید شده، بهره‌گیری از سیستم‌های پردازش تصویری و تعیین رنگ در سطح سبز در شرایط زراعی، می‌تواند ابزار خوبی برای ارزیابی میزان خسارت‌زایی شوری بر تولید باشد.

از نظر مقدار تولید مادهٔ خشک در بوته بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در میان ژنوتیپ‌ها، به طور میانگین ژنوتیپ MCC760 با ۰/۷۶گرم بیشترین و ژنوتیپ‌های MCC544 و MCC696 به ترتیب با ۰/۴۸ و ۰/۴۷ گرم کمترین میزان تولید مادهٔ خشک در بوته را به خود اختصاص دادند. در تمامی ژنوتیپ‌ها در پاسخ به تنش شوری، از میزان تولید ماده خشک کاسته شد، با این حال این کاهش در ژنوتیپ MCC333 معنی‌دار نبود. در مقابل، بیشترین کاهش تولید در پاسخ به تنش شوری ۱۲ dSm^{-1} در ژنوتیپ MCC783 مشاهده شد که میزان آن در مقایسه با شاهد، ۱۹۰درصد بود (جدول ۷).

جدول ۵- اثر تنش خشکی بر مقدار نسبی آب برگ، درصد مادهٔ خشک اندام هوایی و درصد مادهٔ خشک ریشه یازده ژنوتیپ نخود

Table 5. Effect of drought stress on leaf relative water content (RWC), shoot dry matter index and root dry mater index in 11 chickpea genotypes

درصد ماده خشک ریشه Root dry mater index				درصد ماده خشک اندام هوایی Shoot dry matter index				مقدار نسبی آب برگ (درصد) Leaf relative water content (%)				ژنوتیپ
میانگین Mean	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	میانگین Mean	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	میانگین Mean	۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	Genotype
4.4a	4.4	4.0	4.7	**17.8a**	15.5	19.4	18.6	**74.3b**	79.3	72.7	70.8	**MCC333**
3.4cde	3.6	3.0	3.6	**13.1b**	12.4	10.8	16.0	**86.7ab**	98.3	90.7	71.3	**MCC544**
3.7abcd	4.2	3.3	3.7	**14.1ab**	10.1	15.2	16.9	**83.1ab**	98.8	74.5	76.1	**MCC674**
3.5bcde	3.4	3.2	4.0	**16.3ab**	12.7	19.3	16.7	**78.8ab**	92.5	69.6	74.4	**MCC696**
4.2ab	3.6	4.4	4.5	**17.2ab**	14.1	20.4	17.0	**75.5b**	77.8	68.4	80.4	**MCC759**
3.6bcde	3.1	3.5	4.1	**14.6ab**	10.4	12.3	18.0	**81.2ab**	87.1	80.9	75.5	**MCC760**
3.1de	2.9	3.2	3.2	**14.9ab**	14.7	13.4	16.6	**80.5ab**	81.9	80.3	79.4	**MCC770**
3.8abc	3.6	3.6	4.3	**15.3ab**	14.3	14.2	17.3	**71.6b**	70.2	71.2	73.3	**MCC773**
3.8abc	3.5	3.6	4.4	**16.6ab**	11.1	21.3	17.4	**81.9ab**	98.5	69.9	77.3	**MCC783**
4.1a	4.0	4.2	3.9	**16.4ab**	14.9	15.0	19.3	**81.5ab**	84.0	86.1	74.4	**MCC806**
3.0e	3.1	2.5	3.5	**12.4b**	12.4	8.6	16.3	**90.5a**	99.1	98.2	74.1	**MCC877**
LSD=1.0	**3.6b**	**3.5b**	**4.0a**	**LSD=6**	**13.0b**	**15.4ab**	**17.3a**	**LSD=24**	**87.9a**	**78.4b**	**75.2b**	**میانگینMean**

مقایسه میانگین اثرات ساده بر اساس آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن (حروف) در سطح ۰/۰۵. مقدار LSD برای مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح ۰/۰۵.

Simple effect mean comparison: based on Duncan's multiple-range test; significant difference at 5% level of probability.
Interaction compare with LSD, significant difference at 5% level of probability.

جدول ۶- ضرایب همبستگی صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود تحت شرایط تنش شوری

Table 6. Correlation matrix of morphological properties in chickpea in the presence of salinity

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)		
1	0.19	0.47**	0.42**	0.01	0.35**	0.24*	-0.06	-0.10	0.08	-0.13	0.53**	0.35**	ارتفاع بوته Plant height	(1)
	1	0.33**	0.34**	0.15	0.28**	0.22*	0.06	-0.07	0.00	0.00	0.35**	0.33**	طول ریشهٔ اصلی Main root length	(2)
		1	0.83**	0.64**	0.95**	0.73**	-0.07	-0.35**	0.34**	0.34**	0.94**	0.68**	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	(3)
			1	0.55**	0.83**	0.61**	0.25*	-0.28**	0.27*	0.11	0.79**	0.56**	وزن ریشه Root dry weight	(4)
				1	0.62**	0.64**	-0.03	-0.35**	0.38**	0.27*	0.54**	0.44**	تعداد شاخه Branch number	(5)
					1	0.66**	-0.01	-0.31**	0.36**	0.46**	0.88**	0.58**	وزن خشک کل Total biomass	(6)
						1	0.01	-0.47**	0.42**	0.26*	0.74**	0.67**	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	(7)
							1	0.02	0.00	0.34**	-0.05	0.00	نسبت ریشه به اندام هوایی Root/shoot ratio	(8)
								1	-0.70**	-0.15	-0.36**	-0.45**	مقدار نسبی آب برگ Leaf relative water content	(9)
									1	0.30**	0.34**	0.29**	درصد ماده خشک اندام هوایی Shoot dry matter index	(10)
										1	0.27*	0.17	درصد ماده خشک ریشه Root dry mater index	(11)
											1	0.73**	سطح سبز برگ Green area	(12)
												1	نسبت سطح سبز به کل سطح برگ Green to total leaf area ratio	(13)

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح 0.05 =α و 0.01 =α.

*and **: Significant at α= 0.05 & α= 0.01, respectively.

جدول ۷- اثر شوری بر مقدار تولید مادهٔ خشک در بوته و شاخص‌های مقاومت به شوری یازده ژنوتیپ نخود
Table 7. Effect of salt stress on biomass and salt resistance indexes in 11 chickpea genotypes

SSI 12	SSI 8	MP1 2	MP 8	TOL 12	TOL 8	STI 12	STI 8	GMP 12	GMP 8	میانگین Mean	وزن خشک کل (گرم بر بوته) Biomass (g/plant) ۱۲dSm^{-1} 12dSm^{-1}	۸dSm^{-1} 8dSm^{-1}	شاهد Control	ژنوتیپ Genotype
0.53	0.80	0.63	0.62	0.18	0.20	0.53	0.51	0.62	0.61	**0.59bcd**	0.54	0.51	0.72	**MCC333**
1.21	1.13	0.51	0.57	0.41	0.29	0.29	0.41	0.46	0.55	**0.48d**	0.30	0.42	0.71	**MCC544**
1.11	0.88	0.68	0.77	0.48	0.29	0.55	0.80	0.63	0.76	**0.66abc**	0.44	0.63	0.92	**MCC674**
0.96	0.76	0.48	0.54	0.29	0.17	0.29	0.39	0.46	0.53	**0.47d**	0.34	0.46	0.63	**MCC696**
1.08	0.69	0.65	0.77	0.45	0.22	0.52	0.79	0.61	0.76	**0.65abc**	0.43	0.66	0.88	**MCC759**
1.00	0.93	0.80	0.87	0.50	0.35	0.79	1.00	0.76	0.85	**0.76a**	0.55	0.70	1.05	**MCC760**
0.76	1.06	0.66	0.66	0.29	0.31	0.58	0.56	0.65	0.64	**0.61abcd**	0.52	0.50	0.81	**MCC770**
0.89	0.87	0.66	0.70	0.35	0.26	0.56	0.66	0.63	0.69	**0.63abcd**	0.48	0.57	0.84	**MCC773**
1.37	1.37	0.76	0.85	0.74	0.55	0.61	0.90	0.67	0.81	**0.70ab**	0.39	0.58	1.13	**MCC783**
0.99	1.09	0.75	0.79	0.46	0.38	0.70	0.81	0.71	0.76	**0.70ab**	0.52	0.60	0.98	**MCC806**
0.89	1.28	0.57	0.56	0.31	0.33	0.42	0.39	0.55	0.53	**0.51cd**	0.42	0.39	0.73	**MCC877**
										LSD=0.24	**0.45c**	**0.55b**	**0.85a**	میانگین Mean

مقایسه میانگین اثرات ساده بر اساس آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن (حروف) در سطح ۰/۰۵. مقدار LSD برای مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح ۰/۰۵.
Simple effect mean comparison: based on Duncan's multiple-range test; significant difference at 5% level of probability.
Interaction compare with LSD, significant difference at 5% level of probability.

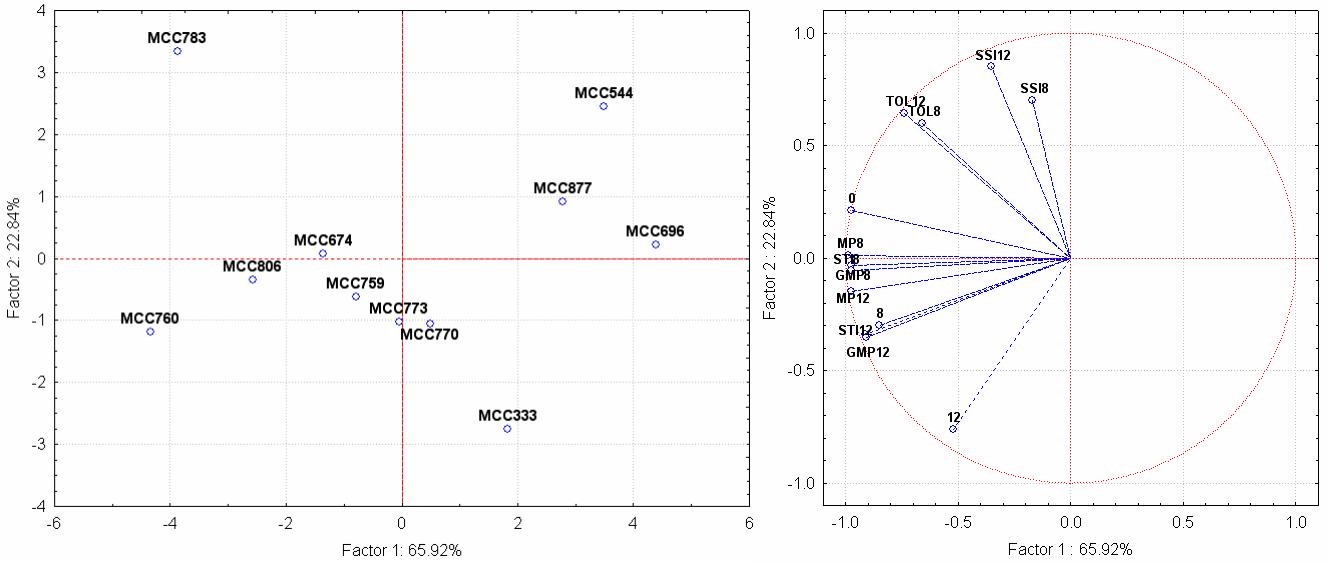
جدول ۸- سهم هر یک از متغیرها در دو مؤلفه برتر آزمون PCA برای متغیرهای اندازه‌گیری شده در نخود
Table 8. Principal component loading for the measured trait of chickpea genotypes

GMP12	GMP8	STI12	STI8	TOL12	TOL8	MP12	MP8	SSI12	SSI8	Y12	Y8	Y0	سهم از واریانس کل Proporation of total variation (%)	مؤلفه Factor
-0.91	-0.98	-0.91	-0.98	-0.74	-0.66	-0.97	-0.99	-0.36	-0.17	-0.52	-0.85	-0.98	65.9	اول PCA1
-0.35	-0.05	-0.34	-0.03	0.64	0.60	-0.15	0.01	0.85	0.70	-0.76	-0.30	0.21	22.8	دوم PCA2

نتایج بدست آمده از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اول ۶۵/۹۲ درصد از تغییرات شاخص‌های MP، GMP، STI و عملکرد در تیمارهای تنش شوری ۸ و ۱۲ dSm^{-1} و تیمار شاهد را توضیح می‌دهد (جدول۹ و شکل۱) بنابراین در شکل ۱، بُعد اول نمودار را می‌توان بُعد پتانسیل تولید و مقاومت به شوری نام نهاد، در حالی‌که مؤلفهٔ دوم که توضیح‌دهندهٔ شاخص‌های SSI و TOL بود، ۲۲/۸۴درصد از تغییرات را شامل می‌شد.

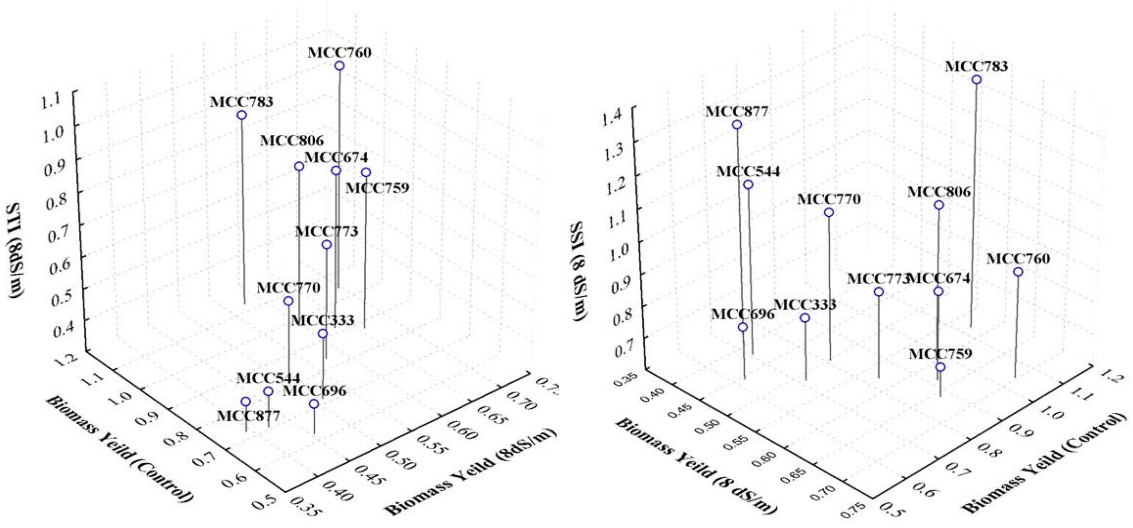
بنابراین بُعد دوم نمودار را می‌توان به عنوان بُعد تحمل به تنش شوری معرفی کرد. با این شرایط انتخاب ژنوتیپ‌هایی که دارای PCA1 و PCA2 پایین‌تری هستند دارای تولید بیشتری هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها هستند. بر این اساس، در این آزمایش ژنوتیپ MCC760 از پتانسیل عملکرد و تولید خوبی هم در شرایط تنش و هم شرایط بدون تنش برخوردار بود. با این حال، اگرچه در ژنوتیپ MCC333 میانگین تولید نسبتاً پایین بود، بیشترین مقدار مقاومت به شوری، در این ژنوتیپ مشاهده شد. در مقابل، ژنوتیپ MCC783 با وجود میزان تولید بالا در شرایط بدون تنش، از مقاومت به شوری کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برخوردار بود. ژنوتیپ‌های MCC544، MCC696 و MCC877 که جزو ژنوتیپ‌های مناسب برای کشت در شرایط دیم و متحمل به خشکی در مطالعات مختلف معرفی شده بودند (Saxena *et al.*,1993; Ganjeali *et al.*, 2009) در قالب یک گروه، در منطقه حساسیت به تنش شوری و پتانسیل تولید پایین در نمودار بای‌پلات قرار گرفته بودند که به نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط شوری مناسب نباشند. در این ارتباط، در بررسی موازی که بر روی گزینش برای تحمل به خشکی بر روی تعدادی از این ژنوتیپ‌ها در شرایط هیدروپونیک

انجام شد، بـر خـلاف نتـایج آزمایـشات مزرعـه‌ای (Saxena *et al.*,1993; Ganjeali *et al.*, 2009) ژنوتیپ‌های MCC544 و MCC877 جزو ژنوتیپ‌های حـساس بـه خـشکی طبقـه‌بنـدی شدند که بـه نظـر مـی‌رسـد کـه زودرسـی در ایـن ژنوتیـپ‌هـا، مهم‌ترین عامل در معرفی آن‌ها به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی باشد. در مقابل، ژنوتیپ MCC783 که در این آزمـایش حساس به تنش شوری بود، از نظر تحمل به خـشکی ایجادشـده در شرایط هیدروپونیک، مقاوم به نظر می‌رسید. با توجه بـه ایـن نتایج به نظر می‌رسد که ممکن است ژنوتیپ‌هایی که در شرایط مزرعه یا در محیط کنترل‌شده برای تحمل به خـشکی گـزینش می‌شوند، تحمل به شوری مناسبی نداشته باشند.



شکل ۱- نمودار بای‌پلات بر مبنای دو مؤلفهٔ اول و دوم با بیشترین توجیه واریانس داده‌ها

Fig 1. Biplot based on two major principal component factors



شکل ۲- نمودار سه‌بُعدی تغییرات میانگین تولید مادهٔ خشک در تیمار شاهد، میانگین تولید مادهٔ خشک در تیمار $8dSm^{-1}$ با مقدار STI8 و SSI8 در نخود

Fig 2. Three dimensional scatter plots of chickpea dry mater production in control, $8dSm^{-1}$ with STI8 and SSI8

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به شوری و متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در تیمارهای شاهد در نخود
Table 9. Correlation matrix of salt tolerance indexes and plant parameters in control in chickpea

SSI8	SSI12	MP8	MP12	TOL8	TOL12	STI8	STI12	GMP8	GMP12	
0.30	0.20	-0.26	-0.29	0.03	-0.01	-0.24	-0.28	-0.28	-0.31	ارتفاع بوته Plant height
0.19	0.66*	0.15	-0.06	0.32	0.55	0.13	-0.22	0.12	-0.23	طول ریشهٔ اصلی Main root length
0.40	0.21	0.63*	0.70*	0.72*	0.57	0.58	0.60*	0.59	0.61*	تعداد شاخه Branch number
-0.16	-0.02	0.02	-0.01	-0.08	-0.02	-0.01	-0.03	0.03	-0.02	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index
0.15	0.38	-0.45	-0.62*	-0.08	0.02	-0.47	-0.67*	-0.47	-0.68*	نسبت ریشه به ساقه Root/shoot ratio
-0.04	0.28	0.48	0.39	0.22	0.40	0.47	0.32	0.48	0.35	مقدار نسبی آب برگ Leaf relative water content
-0.15	-0.29	0.50	0.63*	0.18	0.08	0.50	0.70*	0.51	0.69*	درصد مادهٔ خشک اندام هوایی Shoot dry matter index
-0.44	-0.06	0.29	0.20	-0.12	0.11	0.31	0.17	0.31	0.18	درصد مادهٔ خشک ریشه Root dry mater index
0.25	0.40	0.97**	0.95**	0.72*	0.78**	0.95**	0.88**	0.95**	0.87**	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
0.48	0.72*	0.72*	0.62*	0.80**	0.89**	0.68*	0.46	0.68*	0.46	وزن خشک ریشه Root dry weight
0.33	0.51	0.96**	0.93**	0.78**	0.86**	0.94**	0.82**	0.94**	0.82**	وزن خشک کل Total biomass
0.33	0.49	0.84**	0.80**	0.67*	0.75**	0.83**	0.71*	0.82**	0.72*	سطح سبز برگ Green leaf area
-0.11	-0.19	0.24	0.31	-0.09	-0.09	0.25	0.37	0.27	0.39	نسبت سطح سبز به کل سطح برگ Green to total leaf area ratio

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح α= 0.05 و α= 0.01.

*and **: Significant at α= 0.05 & α= 0.01, respectively.

برخی از محققان اعتقاد دارند که انتخاب بر اساس شاخص‌های SSI و TOL نمی‌تواند ژنوتیپ‌هایی که دارای پتانسیل عملکرد پایین هستند را از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز کند و باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بدون تنش می‌شود (Schnider *et al.*, 1997; Ramirez-Vallejo & Kelly, 1998). این خصوصیت در مورد ژنوتیپ MCC696 کاملاً مشخص بود. این ژنوتیپ با وجود داشتن شاخص حساسیت به تنش (SSI) کم، از تولید مادهٔ خشکی کمی نیز در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار بود (شکل۲). بر این اساس، استفاده از نمودار سه‌بُعدی عملکرد پتانسیل، عملکرد در شرایط تنش و شاخص STI برای گزینش ارقام متحمل ترجیح داده می‌شود (Fernandez, 1998). با این حال ترسیم این نمودار برای تیمار $8dSm^{-1}$ (شکل۲) نشان داد که این شیوه گزینش نیز دارای کاستی‌هایی است. به عنوان نمونه، ژنوتیپ MCC783 که در مطالعات از نظر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در این آزمایش جزو ژنوتیپ‌های حساس طبقه‌بندی می‌شد و بیشترین مقدار شاخص SSI را در تیمار تنش $8dSm^{-1}$ را به خود اختصاص داده بود، دارای مقادیر بالای STI نیز بود و بر اساس نمودار سه‌بُعدی ترسیم‌شده بر اساس این شاخص، در گروه ژنوتیپ‌های متحمل قرار گرفته بود. با این وجود در شوری‌های فوق، اگر ملاک ارزیابی بر اساس میزان عملکرد دانه باشد، می‌تواند ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد بیشتر در شرایط تنش و غیرتنش را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک کند؛ ولی زمانی‌که ملاک ارزیابی بیوماس و هدف از مطالعه تعیین مقاومت گیاه از نظر سلولی به تنش باشد، این شاخص به تنهایی کارآیی ندارد. در این آزمایش به نظر می‌رسد که تفکیک نمونه‌ها بر اساس بای‌پلات از کارآیی بهتری نسبت به دو شیوهٔ فوق برای تفکیک ژنوتیپ‌های حساس از مقاوم برخوردار باشد.

بررسی تأثیر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده با شاخص‌های مقاومت در تیمارهای مختلف شوری نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI در تیمار $12dSm^{-1}$ همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد شاخه و درصد مادهٔ خشک اندام هوایی و در تیمار شاهد، همبستگی مثبت و معنی‌دار و با نسبت ریشه به اندام هوایی، همبستگی منفی داشتند (جدول ۹). به علاوه در این تیمار، طول ریشه و وزن خشک ریشه با شاخص حساسیت به تنش SSI، همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول۹). به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌هایی که دارای نسبت ریشه به اندام

هوایی بیشتری هستند و از سیستم ریشه‌ای گسترده‌تری برخوردار هستند، از مقاومت به شوری کمتری برخوردار باشند. مشخص شده است که ژنوتیپ‌های نخود که از تودهٔ ریشه‌ای بیشتری برخوردار هستند از تحمل به خشکی بیشتری برخوردارند (Kashiwagi *et al*. 2008). این موضوع می‌تواند به عنوان یک مکانیزم احتمالی در حساس‌تر بودن ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، در شرایط تنش شوری در این آزمایش مطرح باشد.

در مجموع نتایج نشان داد که تنش شوری با تأثیر بر خصوصیات مورفولوژیک نخود از قبیل ارتفاع بوته، طول ریشه، سطح سبز برگ، تعداد شاخهٔ جانبی و عملکرد مادهٔ خشک می‌تواند باعث کاهش تولید در این گیاه شود. بررسی این صفات در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که از نظر این صفات، در بین آن‌ها تنوع وجود دارد که امکان گزینش برای دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل‌تر را فراهم می‌سازد. به علاوه بررسی همبستگی صفات با میزان تولید در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که شاخص پایداری غشاء و نسبت سطح سبز گیاه به سطح کل برگ همبستگی خوبی با میزان تولید دارند که به نظر می‌رسد بتوان از آن‌ها برای بررسی شدت تنش و میزان مقاومت به شوری در ژنوتیپ‌های نخود، بهره برد. به علاوه بر اساس این نتایج، بعضی از ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، به شوری متحمل نیستند و برای دستیابی به ژنوتیپ‌هایی که هم تحمل مناسبی به خشکی و شوری داشته باشند، باید ژنوتیپ‌ها برای هر دو صفت مورد ارزیابی قرار گیرند. بر این اساس به نظر می‌رسد که با توجه به این‌که ایران علاوه بر کاهش منابع آب کشاورزی با مشکل شورشدن آب نیز مواجه است، در مطالعات اصلاحی به منظور دستیابی به ژنوتیپ‌هایی که عملکرد مناسبی در این شرایط داشته باشند می‌بایست گزینش برای تحمل به شوری همراه با گزینش برای تحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

اعتبار اجرای این طرح پژوهشی با کد ۱۶۴۳۴/۲ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abdel-Samed, H.M., and Shaddad, M.A. 1997. Salt tolerance of soybean cultivars. Biol. Plant. 39: 263-269.
2. Asha Dhingra, H.R. 2007. Salinity mediated changes in yield and nutritive value of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. Indian J. Plant Physiol. 12: 271-275.
3. Ashraf, M., and Waheed, A. 1993. Responses of some genetically diverse lines of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to salt. Plant Soil 154: 257-266.
4. Azizpour, K., Shakiba, M.R., Khoshkholg Sima, N.A., Alyari, H., Mogaddam, M., Esfandiari, E., and Pessarakli, M. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. J. Plant Nutr. 33: 859-873.
5. Beinsan, C., Camen, Sumalan, D.R., and Babau, M. 2009. Study concerning salt stress effect on leaf area dynamics and chlorophyll content in four bean local landraces from Banat area. In: Proc. of the 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture. p. 416-419.
6. Berger, J., Abbo, S., and Turner, N.C. 2003. Plant Genetic Resources: Ecogeography of Annual Wild Cicer species- The poor state of the world collection. Crop Sci. 43: 1076-1090.
7. Bernstein, N., Laüchli, A., and Silk, W.K. 1993. Kinematics and dynamics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) leaf development at various Na/Ca salinities: I. Elongation growth. Plant Physiol. 103: 1107-1114.
8. Blokhina, O., Virolainen, E., and Fagerstedt, K.V. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. Ann. Bot. 91: 179-194.
9. Bruce, W.B., Edmeades, G.O., and Barker, T.C. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. J. Exp. Bot. 53: 13-25.
10. Farooq, S., and Azam, F. 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. J. Plant Physiol. 163: 629-637.
11. Fernandez, G.C.J. 1998. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: C.C. Kuo (Ed.). Proceedings of an International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
12. Ferri, A., Lluch, C., and Ocana, A. 2000. Effect of salt stress on carbon metabolism and bacteroid respiration in root nodules of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Biol. 2: 396-402.
13. Flowers, T.J., and Flowers, S.A. 2005. Why does salinity pose such a different problem for plant breeders? Agric. Water Manage. 78: 15-24.
14. Gama, P.B., Inanaga, S., Tanaka, K., and Nakazawa, R. 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus Vulg.* L.) seedlings to salinity stress. Afr. J. Biotechnol. 6: 9-88.

15. Ganjeali, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. J. Ir. Field Crop Res. 7: 185-196. (In persian with English Summary).
16. Garg, N., and Singla, R. 2004. Growth, photosynthesis, nodule nitrogen and carbon fixation in the chickpea cultivars under salt stress. Braz. J. Plant Physiol. 16: 137-146.
17. Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular p. 337.
18. Hoisington, D., Khairallah, Reeves, M.T., Ribaut, J.M., Skovmand, B., Taba, S., and Warburton, M. 1999. Plant genetic resources: what can they contribute toward increased crop productivity? Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 96: 5937-5943.
19. Hulse, J.H. 1991. Nature, composition and utilization of grain legumes. In: A.P. Patencheru (Ed.). Uses of Tropical Legumes. Proceedings of a Consultants Meeting, March 27-30, 1989. ICRISAT Center, ICRISAT, India, p. 502-524.
20. Kalefetoglu Macar, T., Turan, Ö., and Ekmekci, Y. 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. G.U.J. Sci. 22: 5-14.
21. Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J.H., and Serraj, R. 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. Field Crop Res. 95: 171-181.
22. Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Gaur, P.M., Chandra, S., and Upadhyaya, H.D. 2008. Estimation of gene effects of the drought avoidance root characteristics in chickpea (*C. arietinum* L.). Field Crop Res. 105: 64-69.
23. Lopez, C.M.L., Takahashi, H., and Yamazaki, S. 2002. Plant water relations of kidney bean plants treated with NaCl and foliarly applied glycinebetaine. J. Agron. Crop Sci. 188: 73-80.
24. Maliro, M.F.A., McNeil, D., Kollmorgen, J., Pittock, C., and Redden, B. 2004 Screening chickpea (*Cicer arietinum* L.) and wild relatives germplasm from diverse country sources for salt tolerance. The 4th International Crop Science Congress in Brisbane, Queensland, Australia.
25. Miflin, B.J. 2000. Crop improvement in the 21st century. J. Exp. Bot. 51: 1-8.
26. Molassiotis, A., Sotiropoulos, T., Tanou, G., Diamantidis, G., and Therios, I. 2006. Boron-induced oxidative damage and antioxidant and nucleolytic responses in shoot tips culture of the apple rootstock EM9 (Malus domestica Borkh). Environ. Exp. Bot. 56: 54-62.
27. Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., and Mishra, S. 2009. Changes in growth and metabolic profile of chickpea under salt stress. J. Ap. Bioscie. 23: 1436 -1446.
28. Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Physiol. 59: 651-681.
29. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.
30. Sairam, R.K., Rao, K.V., and Srivastava, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci. 163: 1037-1046.
31. Saxena, N.P., Krishnamurthy, L., and Johansen, C. 1993. Registration of a drought resistant chickpea germplasm. Crop Sci. 33: 1424.
32. Schnider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J.D. 1997.Improving common bean performance under drought stress. Crop Sci. 37: 43-50.
33. Sedaghatkhahi, H. 2007. Evaluation of Entezary sowing of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under rainfed conditions of Mashhad. Msc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
34. Serraj, R., Krishnamurthy, L., and Upadhyaya, H.D. 2004. Screening chickpea mini-core germplasm for tolerance to soil salinity. ICPN 11: 29-32.
35. Shaddad, M.A., Radi, A.F., Abdel-Rahman, A.M., and Azooz, M.M. 1990. Response of seeds of *Lupinus termis* and *Vicia faba* to the interactive effect of salinity and ascorbic acid or pyridoxine. Plant and Soil. 122: 177-183.
36. Shannon, M. 1984. Breeding, selection and the genetics of salt tolerance. In: R.C. Staples and G.H. Toenniessen (Eds.). Salt tolerance in Plants. Strategies for Crop Improvement. Wiley, New York, p. 300-308.
37. Singla, R., and Garg, N. 2005. Influence of salinity on growth and yield attributes in chickpea cultivars. Turk J. Agric. For. 29: 231-235.
38. Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U., and Weschke, W. 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and saltsensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). Physiol. Plant. 109: 435-442.
39. Upadhyaya, H.D., Ortiz, R., Bramel, P.J., and Singh, S. 2002. Phenotypic diversity for morphological and agronomic characteristics in chickpea core collection. Euphytica 123: 333-342.
40. Yoko, S., Bressan, R.A., and Hasegawa, P.M. 2002. Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Reports. p. 25-33.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 2, No. 2, 2011, p. 83-96

Evaluation of tolerance to salinity based on root and shoot growth of 11 drought tolerant and sensitive chickpea genotypes at hydroponics conditions

Zare Mehrjerdi[1*], M., Nabati[2], J., Massomi[3], A., Bagheri[4], A.R. & Kafi[4], M.

1- Assistant Professor of Faculty of Agriculture of Shirvan, Ferdowsi University of Mashhad
2- Ph.D. of physiology, Fanavaran Bazr Yekta Corporation
3- Assistant Professor of Payame Noor University
4- Contributions from Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 21 August 2010
Accepted: 7 March 2011

Abstract

Salinity is a major environmental problem in arid and semi-arid areas. Chickpea (*Cicer arietinum* L.), like other legumes is sensitive to salinity. Therefore, selection of genotypes to grow on saline areas is important. Eleven chickpea genotypes (as sub plots) were grown in the greenhouse conditions on a medium containing different NaCl concentrations (8 and 12 dSm^{-1}) and control (Hoagland solution) as main plots. The results showed that salinity reduced membrane stability index, green leaf area, the percentage of shoot and root dry matter, plant height, number of branch and root to shoot dry weight, significantly and increased leaf relative water content in all genotypes. Membrane stability index (0.61 and 0.73) and green leaf area to total leaf area ratio (0.68 and 0.56) in genotypes showed a positive correlation with shoot and root dry matter, respectively. Biplot on resistance index based on dry matter production showed that amomg drought tolerant genotypes, MCC696, MCC544 and MCC877 are least and MCC760 is the highest salt tolerant genotypes. In this study, except MCC873, other drought sensitive genotypes were categorized in the salt tolerant group. Therefore, it seems that drought tolerant genotypes are not necessarily salt tolerant. Generally, in order to achieve the drought and salinity tolerant chickpea varieties, the genotypes for both traits should be selected.

Key words: Chickpea, Leaf relative water content, Resistance index, Root, Shoot

* **Corresponding Author:** E-mail: mzarem1381@yahoo.com , Mobile: 09359926720