



"مقاله پژوهشی"

اثر سطوح تنش شوری بر ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط هیدروپونیک

محمد رضا علیزاده مؤمن^۱، حمیدرضا خزاعی^۲ و جعفر نباتی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه آگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، (نویسنده مسؤول: h.khazaie@um.ac.ir)
۳- استادیار پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۷
صفحه: ۱۸ تا ۳۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش شوری یک چالش جهانی در تولید محصولات زراعی است. نخود در دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی رشد می‌کند و حساس به تنش شوری است. تنش شوری باعث ایجاد تنش‌های اسمزی، یونی و ثانویه می‌شود و فرآیندهای متابولیکی را در گیاهان مختل می‌کند و در نهایت باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود. استفاده از ارقام نخود متحمل به شوری به دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌تواند به افزایش تولید و بهره‌وری در زمین‌های شور کمک کند. هدف از این مطالعه بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهچه‌های ۱۷ ژنوتیپ نخود بود.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه فردوسی مشهد روی ۱۷ ژنوتیپ نخود کابی به عنوان کرت فرعی و دو سطح شوری (۱۲ و ۱۶dS.m^{-1}) و شاهد ($۰/۵\text{dS.m}^{-1}$) به عنوان کرت اصلی اجرا گردید. دو هفته بعد از کشت، تنش شوری اعمال شد و چهار هفته پس از اعمال تنش، صفات نشت الکترولیت‌ها، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، فنل کل، کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، پتانسیل اسمزی، درصد بقاء، میزان سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی و شاخص تحمل به شوری اندازه‌گیری شدند. **یافته‌ها:** در تمامی ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح تنش شوری درصد نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت. در سطح تنش شوری ۱۶dS.m^{-1} ژنوتیپ‌های MCC72، MCC108، MCC112 و MCC12 به ترتیب با $۸۶/۵$ ، $۸۲/۶$ و ۱۰۰ درصد بیشترین درصد بقاء را داشتند. در تنش شوری ۱۶dS.m^{-1} ژنوتیپ MCC108 با ۸۲ درصد کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها را نشان داد و ژنوتیپ‌های MCC12، MCC58 و MCC27 کمترین افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها را نسبت به شاهد داشتند. ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی نسبت به افزایش میزان شوری از نظر محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نشان دادند. در ژنوتیپ‌های MCC92، MCC108، MCC112 و MCC296 با افزایش تنش شوری به ۱۶dS.m^{-1} بر محتوای کلروفیل a آن‌ها افزوده شد. محتوای کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در تمامی ژنوتیپ‌ها با افزایش تنش شوری از شاهد به ۱۶dS.m^{-1} افزایش یافت و پتانسیل اسمزی منفی‌تر گردید. **نتیجه‌گیری:** به طور کلی بین ژنوتیپ‌های نخود تنوع زیادی از نظر صفات فیزیولوژیک وجود داشت تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به پنج گروه تقسیم کرد که مقایسه میانگین گروه‌ها با میانگین کل نشان داد که درصد بقاء در ژنوتیپ‌های گروه چهارم شامل MCC108 و MCC112 نسبت به میانگین کل برتر بودند، بنابراین مطالعات تکمیلی در شرایط مزرعه روی این دو ژنوتیپ توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بقاء، پتانسیل اسمزی، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) گیاهی از خانواده بقولات است که در بسیاری از کشورها در آسیا، اروپا، استرالیا و شمال آمریکا کشت می‌شود (۳۵). بر اساس گزارش سازمان خوارو بار جهانی نخود در ۵۵ کشور جهان کشت می‌شود که ۹۰ درصد سطح زیر کشت آن در کشورهای درحال توسعه قرار دارد. ایران با وجود قرار داشتن در رتبه چهارم تولید نخود در دنیا، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که در این مناطق علاوه بر تنش خشکی، تنش شوری نیز از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش تولیدات کشاورزی است (۱۳).

شوری پس از خشکی به عنوان دومین تنش محیطی مهم و تأثیرگذار در کشاورزی بوده که روی حدود ۲۰ درصد از کل خشکی‌های زمین و نیمی از زمین‌های فاریاب تأثیرگذار است (۲ و ۳۸). شوری باعث ایجاد محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نترات و کلسیم، افزایش غلظت یونی درون سلولی، تغییر مقدار کلروفیل، مقدار پرولین باعث تنش اسمزی می‌گردد که تغییرات موجب به هم خوردن توازن متابولیکی و در پی آن تنش اکسیداتیو می‌گردند و

همچنین با تأثیر بر انتقال و تسهیم عناصر در اندام‌های مختلف گیاه سبب افت کیفیت در اندام‌های رویشی و زایشی می‌گردد (۲۲، ۲۷).

گیاهان معمولاً با کاهش پتانسیل اسمزی خود از طریق تجمع یون‌ها و ترکیب‌های آلی در فرآیندی که به عنوان تنظیم اسمزی شناخته می‌شود، به شوری پاسخ می‌دهند. پژوهشگران نشان دادند که با افزایش تنش شوری، پتانسیل آب (برگ‌ها) و پتانسیل اسمزی (برگ‌ها و ریشه‌ها) منفی‌تر شده و گیاهان هرچه زمان بیشتری در معرض تنش شوری قرار گرفتند، پتانسیل اسمزی آن‌ها منفی‌تر می‌شود (۲۵). در شرایط تنش شوری، محتوای سدیم در اندام هوایی بیشتر از ریشه است. در برگ ژنوتیپ‌های حساس به شوری، عمدتاً تجمع سدیم در سلول‌های اپیدرمی بیشتر از سلول‌های مزوفیل است. تنش شوری روی جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاهچه، رشد، تثبیت نیتروژن، گلدهی، رشد غلاف و پر شدن بذر نخود تأثیر می‌گذارد (۷).

برخی پژوهشگران دلیل کاهش فتوسنتز را تغییر در ساختار تیلاکوئیدها می‌دانند و همچنین بیان می‌کنند که تنش شوری بر غشاء کلروفیل اثر گذاشته و باعث از بین رفتن تجمع گرانا می‌شود (۸).

بوده است و از آنجا که مؤثرترین روش مقابله با تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری دست‌یابی به ژنوتیپ‌های متحمل می‌باشد، لذا این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک جهت گزینش تحمل به شوری در نخود انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شرایط هیدروپونیک در زمستان سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایش شامل ۱۷ ژنوتیپ گیاه نخود تیپ کابلی به عنوان کرت فرعی و دو سطح شوری (۱۲ و ۱۶dS.m^{-1}) و شاهد ($۰/۵\text{dS.m}^{-1}$) به عنوان کرت اصلی بودند. فهرست ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. بذر ژنوتیپ‌های نخود مورد استفاده از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد.

افزایش کربوهیدرات‌های محلول برگ نخود تحت تنش شوری توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (۲۲، ۲۵). تأثیر منفی سطوح مختلف شوری حاصل کلرید و سولفات بر محتوای نشاسته و پروتئین برگ در دو رقم نخود گزارش شده است درحالی‌که تجمع اسیدهای آمینه مخصوصاً پرولین با افزایش سطح شوری افزایش یافت (۳۶).

نخود به تنش شوری حساس است حتی پس از پژوهش‌های زیادی که برای بهبود تحمل به نمک در نخود انجام شده است، تا به امروز، ارقام محدودی متحمل به شوری زیرا تولید لاین‌های جدید با تحمل بالا به نمک از لحاظ ژنتیکی دشوار است (۶).

بررسی اثر شوری روی شش ژنوتیپ گیاه نخود نشان داد که وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت و با افزایش شدت تنش، از وزن خشک بوته در همه ژنوتیپ‌ها کاسته شد با این وجود بین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به شوری تنوع مشاهده شد (۱۴).

با اینکه نخود دامنه تنوع ژنتیکی پایینی دارد، اما مطالعات روی گزینش ارقام مختلف نخود در شوری با موفقیت همراه

جدول ۱- لیست ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه

شماره ردیف	کد بانک بذر	منشأ	شماره ردیف	کد بانک بذر	منشأ
1.	MCC12	Iran	10.	MCC108	ICARDA
2.	MCC23	Iran	11.	MCC112	ICARDA
3.	MCC27	Iran	12.	MCC134	ICARDA
4.	MCC28	Iran	13.	MCC161	ICARDA
5.	MCC52	ICARDA	14.	MCC208	ICARDA
6.	MCC58	ICARDA	15.	MCC296	ICARDA
7.	MCC71	ICARDA	16.	MCC415	Iran
8.	MCC72	ICARDA	17.	MCC578	Iran
9.	MCC92	ICARDA			

MCC: کلکسیون نخود مشهد.

(۳۹)، کربوهیدرات‌های محلول (۱۲) و پرولین (۵) اندازه‌گیری شدند.

پتانسیل اسمزی برگ با استفاده از دستگاه اسمومتر مدل OM802.D شرکت Wogel بر اساس روش نقطه انجماد تعیین شد. برای این منظور نمونه‌های برگ در میکروتیوب‌های ۰/۵ میلی‌لیتری هموژنیزه و عصاره‌گیری شد. پتانسیل اسمزی عصاره به‌دست‌آمده توسط دستگاه اسمومتر که توسط محلول استاندارد گلوکز کالیبره شده بود، تعیین کمیت شد. مقدار اسمولیت‌های موجود در برگ برحسب مول بر گرم ماده خشک بر اساس ترکیب رابطه وانت هوف و مقدار آب برگ محاسبه شد.

(معادله ۱)
$$Os = (-Op/RT) \times (WC/(1-WC))$$
 در این معادله، Os ، مقدار اسمولیت برحسب میلی‌مول بر گرم ماده خشک؛ R ، ثابت گاز معادل $۰/۰۸۳$ ؛ T ، درجه حرارت محیط برحسب کلوین؛ Op ، پتانسیل اسمزی برگ بر حسب بار و WC ، مقدار آب برگ می‌باشد. برای محاسبه درصد بقاء پیش از اعمال تنش شوری تعداد بوته‌های سبز شده ثبت گردید و پیش از برداشت نیز تعداد بوته‌های زنده ثبت و درصد بقاء بر اساس معادله (۲) محاسبه گردید.

ابتدا بذرها در آزمایشگاه جوانه‌دار و سپس به بستر کشت در گلخانه با طول دوره روشنائی و تاریکی مطابق طول روز طبیعی، دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد با دامنه تغییر ± 5 تنظیم و شرایط نور طبیعی منتقل شدند. کشت در محیط هیدروپونیک انجام شد. به‌عنوان بستر کشت از ماسه‌روخانه‌ای عبور داده شده از الک دو میلی‌متری و کاملاً شسته شده، استفاده شد. گیاهچه‌ها در دو هفته ابتدایی با آب شرب آبیاری شدند. جهت تأمین مواد غذایی موردنیاز گیاه از محلول هوگلند (۱۸) استفاده شد. دو هفته بعد از انتقال بذرها به محیط کشت، تنش شوری اعمال شد. سیستم تغذیه در این مطالعه سیستم بسته بود و محلول غذایی در بستر به‌طور متناوب گردش می‌کرد و هر هفته با تعویض محلول هوگلند بر اساس سطح شوری مورد نظر، کلرید سدیم استفاده شد. با توجه به اینکه محلول هوگلند به‌واسطه دارا بودن عناصر غذایی حدود دو دسی‌زیمنس بر متر هدایت الکتریکی ایجاد می‌کند، مجموع هدایت الکتریکی محلول غذایی و تیمار شوری ۱۲dS.m^{-1} به ۱۴dS.m^{-1} و در شوری ۱۶dS.m^{-1} به ۱۸dS.m^{-1} رسید.

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری، صفات نشت کنترل‌ها (۳۳)، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (۱۰)، فنل کل

معادله (۲)

تعداد بوته پیش از تنش / (۱۰۰ × تعداد بوته چهار هفته بعد از تنش) = درصد بقاء

میزان سدیم و پتاسیم اندام‌های هوایی با استفاده از ۲۵۰ میلی گرم نمونه خشک آسیاب شده که به مدت ۲۴ ساعت در اسید نیتریک غلیظ هضم و یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته بود با دستگاه فلیم‌فتومتر (UK-Jenway) و محلول‌های استاندارد سدیم و پتاسیم تعیین شد (۴۰).

شاخص تحمل به شوری (Sanility Resistance Index (SRI)) بر اساس معادله (۳) و بر اساس معیار زیست‌توده تعیین شد.

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{SRI} = \frac{\left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_p}\right)}{\frac{Y_s}{\bar{Y}_p}}$$

در معادله فوق Y_s تولید ژنوتیپ در تیمار تنش، Y_p تولید ژنوتیپ در تیمار شاهد، \bar{Y}_s میانگین تولید در تیمار تنش و \bar{Y}_p میانگین تولید در تیمار شاهد می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار Minitab 17 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای برآورد همبستگی و تجزیه خوشه‌ای (بر اساس روش ward و فاصله اقلیدسی از نرم‌افزار JMP4 استفاده شد.

نتایج و بحث

برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌ها بر درصد بقاء معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط بدون تنش در هیچ یک از ژنوتیپ‌ها، گیاهچه از بین رفته مشاهده نشد و همگی دارای ۱۰۰ درصد بقاء بودند. با افزایش سطح تنش شوری درصد بقاء

کاهش یافت. ژنوتیپ‌های MCC28 و MCC296 بیشترین واکنش را در سطح تنش شوری 12 dS.m^{-1} نشان دادند و با ۳۱ درصد کاهش نسبت به شاهد، کمترین درصد بقاء را در بین ژنوتیپ‌ها داشتند. ژنوتیپ‌های MCC12، MCC108 و MCC72 نیز با ۹۵ درصد بقاء بیشترین درصد بقاء را در 12 dS.m^{-1} داشتند (جدول ۲). با افزایش میزان شوری به 16 dS.m^{-1} ، درصد بقاء با شدت بیشتری کاهش یافت. درصد بقاء در ژنوتیپ‌های MCC108 و MCC72 در سطح شوری 16 dS.m^{-1} اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند. همچنین ژنوتیپ MCC112 در سطح شوری 16 dS.m^{-1} با درصد بقاء ۱۰۰ درصد بیشترین مقدار این صفت را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها ثبت کرد. به غیر از ژنوتیپ‌های ذکر شده، در سایر ژنوتیپ‌ها درصد بقاء به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. کمترین درصد بقاء مربوط به ژنوتیپ MCC208 بود که در شوری 16 dS.m^{-1} کلیه بوته‌های آن از بین رفتند. پس از آن ژنوتیپ‌های MCC28 و MCC415 به ترتیب با ۲/۸ و ۴ درصد، کمترین درصد بقاء را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۲).

تنش شوری مانع رشد ریشه و ساقه شده و در غلظت کم شوری با کاهش رشد و عملکرد و در غلظت‌های بالا با قرار گرفتن در معرض شوری برای مدت طولانی منجر به مرگ گیاه می‌شود (۲۹). بررسی اثرات نمک کلرید سدیم روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نخود نشان داد که بیشترین زمان جوانه‌زنی و کمترین میزان رشد گیاهچه در شوری 16 dS.m^{-1} بود. به‌طوری‌که با افزایش غلظت نمک، جوانه‌زنی به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفت و در غلظت 16 dS.m^{-1} هیچ گیاهچه‌ای قادر به جوانه‌زنی و رشد نبود (۳۱) که با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش مطابقت دارد.

جدول ۲- اثر تنش شوری بر درصد بقاء و نشت الکترولیت‌ها در ژنوتیپ‌های نخود

نشت الکترولیت‌ها (%)			بقاء (%)			ژنوتیپ
16 dS.m^{-1}	12 dS.m^{-1}	$0/16 \text{ dS.m}^{-1}$	16 dS.m^{-1}	12 dS.m^{-1}	$0/16 \text{ dS.m}^{-1}$	
۸۹/۳ ^{a-g}	۹۰/۱ ^{a-l}	۸۵/۳ ^{h-o}	۳۱/۱ ^h	۹۷/۴ ^a	۱۰۰ ^a	MCC12
۹۰/۶ ^{a-e}	۹۱/۷ ^{ab}	۸۴/۴ ^{j-o}	۱۱/۴ ^{hi}	۹۲/۷ ^{a-c}	۱۰۰ ^a	MCC23
۸۵/۸ ^{g-n}	۸۶/۸ ^{e-l}	۸۱/۵ ^{o-q}	۶۲/۹ ^{d-f}	۹۴/۴ ^{a-c}	۱۰۰ ^a	MCC27
۹۲/۶ ^a	۹۰/۶ ^{a-d}	۸۳/۶ ^{k-o}	۲/۷ ^{li}	۶۹/۰ ^{c-f}	۱۰۰ ^a	MCC28
۸۸/۴ ^{b-i}	۹۱/۶ ^{ab}	۸۳/۲ ^{k-p}	۳۴/۵ ^{gh}	۹۴/۴ ^{a-c}	۱۰۰ ^a	MCC52
۸۹/۳ ^{a-g}	۹۱/۵ ^{a-c}	۸۵/۰ ^{h-o}	۱۰/۸ ^{hi}	۸۰/۰ ^{a-f}	۱۰۰ ^a	MCC58
۸۹/۳ ^{a-g}	۸۶/۷ ^{f-l}	۷۹/۵ ^{p-r}	۶۰/۷ ^{ef}	۸۱/۱ ^{a-f}	۱۰۰ ^a	MCC71
۸۶/۹ ^{d-k}	۸۹/۳ ^{a-g}	۸۲/۷ ^{m-p}	۸۶/۵ ^{a-d}	۹۵/۸ ^a	۱۰۰ ^a	MCC72
۹۱/۱ ^{a-c}	۹۰/۶ ^{a-e}	۸۲/۸ ^{m-p}	۵۸/۶ ^{lg}	۹۳/۳ ^{a-c}	۱۰۰ ^a	MCC92
۸۴/۰ ^{j-o}	۸۶/۵ ^{f-m}	۷۶/۵ ^f	۸۲/۶ ^{a-f}	۹۵/۹ ^a	۱۰۰ ^a	MCC108
۸۷/۷ ^{c-j}	۹۱/۴ ^{a-c}	۸۱/۷ ^{o-q}	۱۰۰ ^a	۹۴/۷ ^{ab}	۱۰۰ ^a	MCC112
۸۹/۳ ^{a-g}	۸۸/۷ ^{b-h}	۷۸/۳ ^{qf}	۱۴/۶ ^{hi}	۸۹/۳ ^{a-c}	۱۰۰ ^a	MCC134
۸۹/۹ ^{a-f}	۹۱/۳ ^{a-c}	۸۲/۷ ^{b-p}	۲۴/۸ ^{hi}	۷۷/۹ ^{a-f}	۱۰۰ ^a	MCC161
۱۰۰ ^a	۸۸/۹ ^{b-g}	۸۲/۸ ^{m-p}	۰/۰ ^j	۹۲/۷ ^{a-c}	۱۰۰ ^a	MCC208
۹۰/۱ ^{a-f}	۹۰/۷ ^{a-d}	۸۳/۱ ^{t-p}	۱۰/۳ ^{hi}	۶۹/۷ ^{b-f}	۱۰۰ ^a	MCC296
۹۱/۶ ^{ab}	۹۱/۶ ^{ab}	۸۴/۷ ^{t-o}	۴/۱ ^{li}	۸۵/۶ ^{a-e}	۱۰۰ ^a	MCC415
۹۱/۰ ^{a-c}	۹۱/۰ ^{a-c}	۸۴/۰ ^{j-o}	۱۰/۷ ^{hi}	۷۴/۷ ^{a-f}	۱۰۰ ^a	MCC578
ژنوتیپ×شوری ۰/۰۰۱***	ژنوتیپ ۰/۰۰۱**	شوری ۰/۰۰۱**	ژنوتیپ×شوری ۰/۰۰۱***	ژنوتیپ ۰/۰۰۱**	شوری ۰/۰۰۱**	P value
		۱/۲۴			۹/۶۶	CV%

MCC: کلکسیون نخود مشهد. حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند. **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. CV: ضریب تغییرات.

میزان نشت الکترولیت‌ها در بالاترین سطح شوری به دست آمد که با نتایج حاصل از آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد (۲۱). همچنین مطالعات نشان داد که شوری بر میزان تراوش یونی غشاء در برگ ذرت اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که نشت یونی با افزایش شوری افزایش پیدا کرد و شاخص پایداری غشاء نیز تحت تأثیر شوری قرار گرفت (۴). بررسی اثر شوری بر گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد ارقامی که نشت یونی کمتری دارند، به شوری متحمل‌تر هستند (۲۰). در مطالعه حاضر بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که در تیمار شاهد، همبستگی بین درصد نشت و بقاء وجود ندارد ولی با افزایش سطح تنش شوری همبستگی منفی مشاهده شد با این وجود در سطح تنش ۱۲dS.m^{-1} ، این همبستگی منفی معنی‌دار نشد؛ اما در سطح تنش ۱۶dS.m^{-1} همبستگی منفی معنی‌داری ($r^2=۰/۶۳^{**}$) مشاهده شد و همبستگی کل بین این دو ویژگی منفی و معنی‌دار ($r^2=۰/۵۸^{**}$) بود (جدول ۹، ۱۰).

مقدار کلروفیل و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، چراکه به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده مؤثر هستند (۲۲). بررسی نتایج نشان داد که در ۹ ژنوتیپ با افزایش سطح تنش از شاهد به ۱۲dS.m^{-1} محتوای کلروفیل *a* کاهش یافت (جدول ۳). از طرفی در ژنوتیپ‌های MCC52، MCC134، MCC112، MCC108، MCC71، MCC58 و MCC296 افزایش سطح تنش از شاهد به ۱۲dS.m^{-1} محتوای کلروفیل *a* افزایش یافت (جدول ۳). ژنوتیپ MCC296 در شوری ۱۲dS.m^{-1} بیشترین محتوای کلروفیل *a* را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها ثبت کرد که نسبت به شاهد ۵۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

در سطح تنش شوری ۱۶dS.m^{-1} در میان ژنوتیپ‌های زنده مانده، ژنوتیپ MCC108، بیشترین و ژنوتیپ MCC71، کمترین محتوای کلروفیل *a* را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند (جدول ۳). همچنین ژنوتیپ‌های MCC52، MCC58، MCC71 و MCC134 که تحت تنش شوری ۱۲dS.m^{-1} بر محتوای کلروفیل *a* آن‌ها افزوده شده بود، با افزایش شدت شوری به ۱۶dS.m^{-1} از میزان کلروفیل آن‌ها کاسته شد به‌طوری‌که تمام ژنوتیپ‌های ذکر شده در شوری ۱۶dS.m^{-1} میزان کلروفیل کمتری نسبت به شاهد داشتند (جدول ۳).

اثر آسیب وارد شده به غشاء سیتوپلاسمی در اثر تنش باعث می‌شود که محتویات سلول آن‌ها به بیرون تراوش کند، که مقدار این آسیب را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار نشت یونی تعیین نمود (۲۰). نتایج نشان داد تنش شوری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها در سطح شوری ۱۲dS.m^{-1} شد (جدول ۲). در بررسی ژنوتیپ‌ها مشخص شد که در تمامی ژنوتیپ‌ها درصد نشت الکترولیت‌ها در شوری ۱۲dS.m^{-1} نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها در شوری ۱۲dS.m^{-1} مربوط به ژنوتیپ‌های MCC134، MCC108 و MCC112 به‌ترتیب با $۱۰/۳$ ، ۱۰ و $۹/۷$ درصد افزایش نسبت به شاهد بود (جدول ۲). همچنین در شوری ۱۲dS.m^{-1} ژنوتیپ MCC108 با $۸۶/۵$ و ژنوتیپ‌های MCC12، MCC27 و MCC208 به‌ترتیب با $۴/۹$ ، $۵/۳$ و ۶ درصد کمترین میزان درصد نشت الکترولیت‌ها را نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۲).

با افزایش غلظت شوری به ۱۶dS.m^{-1} در تمامی ژنوتیپ‌ها درصد نشت الکترولیت‌ها افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد، اما بین هر ژنوتیپ در دو سطح شوری ۱۲ و ۱۶dS.m^{-1} تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). ژنوتیپ MCC28 با $۹۲/۵$ درصد بیشترین نشت الکترولیت‌ها را در بین تمام ژنوتیپ‌ها در تنش شوری ۱۶dS.m^{-1} ثبت کرد، در همین سطح از تنش ژنوتیپ‌های MCC208 و MCC134 با $۱۰/۸$ و $۱۷/۲$ درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین افزایش نشت الکترولیت‌ها را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها نشان دادند. از طرفی در تنش شوری ۱۶dS.m^{-1} ژنوتیپ MCC108 با ۸۲ درصد کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها را نشان داد و ژنوتیپ‌های MCC12، MCC58 و MCC27 کمترین افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها را نسبت به شاهد داشتند (جدول ۲).

افزایش نشت یونی غشاء با افزایش سطح شوری در نتیجه خشکی فیزیولوژیک حاصل از آن در برخی آزمایش‌ها روی ارقام آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش شده است (۳۷). آبیاری نخود با آب شور باعث آسیب رسیدن به غشاء سلولی شد و باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شد (۲۵). گزارش شده است که، نشت الکترولیت‌ها در نخود با افزایش شوری به‌صورت خطی افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین

جدول ۳- اثر تنش شوری بر محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های نخود

Table 3. Effect of salinity stress on photosynthetic pigments in chickpea genotypes

کلروفیل a (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)			کلروفیل b (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)			نسبت کلروفیل a به b		
ژنوتیپ	۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹	۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹	۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹	۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹
MCC12	۰/۷۰. c-k	۰/۵۷۳ ^{g-m}	۰/۳۷۶ ^{m-q}	۰/۳۸۸ ^{t-q}	۰/۴۸. g-q	۱/۸۷ ^{b-h}	۱/۴۷ ^{c-k}	۱/۳. f-l
MCC23	۰/۷۳۳ ^{c-k}	۰/۶۷۰. d-k	۰/۴۲. i-q	۰/۶۱۱ ^{c-h}	۰/۷۲۹ ^{cd}	۱/۷۵ ^{b-i}	۱/۲۶ ^{f-l}	۰/۸۳ ^{kl}
MCC27	۰/۸۶۲ ^{b-g}	۰/۵۹۰. f-m	۰/۴۵۲ ^{h-q}	۰/۴۷۳ ^{h-q}	۰/۵۵۶ ^{d-m}	۱/۹۲ ^{b-f}	۱/۲۷ ^{f-l}	۱/۲۲ ^{f-l}
MCC28	۰/۷۵. c-k	۰/۷۳۸ ^{c-k}	۰/۶۰. ۳ ^{f-m}	۰/۳۵۱ ^{o-q}	۰/۶۷۳ ^{c-f}	۲/۱۲ ^{b-e}	۱/۰. ۹ ^{h-l}	۰/۸۵ ^{kl}
MCC52	۰/۶۳۴ ^{e-l}	۰/۷۴۴ ^{c-k}	۰/۵۱۲ ^{j-m}	۰/۳۵۶ ^{o-q}	۰/۵۶۴ ^{d-l}	۱/۷۸ ^{b-h}	۱/۳۳ ^{e-k}	۱/۵۰. c-k
MCC58	۰/۵۳۱ ^{i-m}	۰/۷۷۶ ^{c-j}	۰/۴۷۰. k-m	۰/۳۷۶ ^{m-q}	۰/۳۵۹ ^{o-q}	۱/۴۰. d-k	۱/۳۵ ^{e-k}	۱/۳۱ ^{e-l}
MCC71	۰/۶۱۷ ^{f-m}	۰/۷۰. ۹ ^{c-k}	۰/۳۲۸ ^m	۰/۳۳۴ ^{p-q}	۰/۴۱۶ ^{i-q}	۱/۸۵ ^{b-h}	۱/۷۹ ^{b-h}	۰/۸۵ ^{kl}
MCC72	۰/۶۳۹ ^{e-l}	۰/۵۵۶ ^{h-m}	۰/۵۴۰. i-m	۰/۳۸۷ ^{t-q}	۰/۴۰. ۱ ^{j-q}	۱/۶۷ ^{b-j}	۱/۳۸ ^{d-k}	۱/۲۹ ^{f-l}
MCC92	۰/۶۶۵ ^{d-k}	۰/۵۸۷ ^{f-m}	۰/۶۸۳ ^{d-k}	۰/۳۶۴ ^{n-q}	۱/۳۶ ^a	۱/۸۱ ^{b-h}	۱/۴۰. d-k	۰/۵۰. l
MCC108	۰/۸۵۲ ^{c-h}	۰/۹۹۹ ^{a-c}	۱/۱۶ ^{ab}	۰/۵۸۳ ^{d-j}	۰/۶۶ ^{c-g}	۲/۹۶ ^a	۱/۷۲ ^{b-i}	۱/۷۶ ^{b-i}
MCC112	۰/۶۰. ۹ ^{f-m}	۰/۸۲۷ ^{c-i}	۰/۷۵۹ ^{c-k}	۰/۳۹۳ ^{k-q}	۰/۶۴. c-h	۱/۵۴ ^{c-k}	۱/۳۰. f-l	۱/۴۲ ^{d-k}
MCC134	۰/۶۹۸ ^{c-k}	۰/۹۵۵ ^{b-d}	۰/۶۹۶ ^{d-k}	۰/۵۴۱ ^{d-n}	۰/۶۲۶ ^{c-h}	۱/۲۷ ^{f-l}	۱/۵۳ ^{c-k}	۱/۱۱ ^{g-l}
MCC161	۰/۶۱. f-m	۰/۴۸۹ ^{j-m}	۰/۳۵. lm	۰/۳۳۲ ^{p-q}	۰/۴۲. i-q	۱/۸۴ ^{b-h}	۱/۱۵ ^{f-l}	۱/۰. ۷ ^{h-l}
MCC208	۰/۷۸۵ ^{c-j}	۰/۹۷۵ ^{a-c}	۰/۰. . n	۰/۴۳۵ ^{i-q}	۰/۷۳۲ ^{bc}	۱/۷۹ ^{b-h}	۱/۳۳ ^{e-k}	۰/۰. . m
MCC296	۰/۸۱۷ ^{c-i}	۱/۲۱ ^a	۰/۹۲۹ ^{b-e}	۰/۳۶. n-q	۰/۴۸۶ ^{f-p}	۲/۲۸ ^{a-c}	۱/۳۸ ^{d-k}	۱/۹۱ ^{b-g}
MCC415	۰/۸۷۸ ^{b-f}	۰/۷۱۰. c-k	۰/۷۵۷ ^{c-k}	۰/۴۸۷ ^{f-p}	۰/۵۸۱ ^{d-k}	۱/۸۰. b-h	۱/۲۳ ^{f-l}	۰/۹۷ ^{i-l}
MCC578	۰/۸۵۲ ^{c-h}	۰/۷۰. ۵ ^{c-k}	۰/۷۴۷ ^{c-k}	۰/۹۶۹ ^b	۰/۳۱۷ ^{p-q}	۰/۳۰. ۵ ^{p-q}	۲/۴. ab	۲/۴۵ ^{ab}
شوری	ژنوتیپ	ژنوتیپ×شوری	شوری	ژنوتیپ	ژنوتیپ×شوری	شوری	ژنوتیپ	ژنوتیپ×شوری
P value	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**
CV%	۱۲/۳۰	۱۰/۷۲	۱۴/۷۹					

MCC: کلکسیون نخود مشهد، حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند. **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. CV: ضریب تغییرات.

۲۰ درصدی نشان داد، ولی با افزایش سطح تنش شوری به ۱۶dS.m⁻¹، این ویژگی ۲۰ درصد کاهش یافت و محتوای کلروفیل b در شوری ۱۶dS.m⁻¹ با شاهد برابر بود (جدول ۳). در تمامی ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ MCC578 با افزایش سطح شوری از شاهد به ۱۲ و ۱۶dS.m⁻¹ نسبت کلروفیل a به b کاهش یافت (جدول ۳). در ژنوتیپ MCC578 با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۱۲ و ۱۶dS.m⁻¹ نسبت کلروفیل a به b به‌ترتیب ۲/۷۲ و ۲/۷۸ برابر افزایش یافت (جدول ۳). با افزایش سطح تنش شوری از ۱۲ به ۱۶dS.m⁻¹، نسبت کلروفیل a به b در ژنوتیپ‌های MCC52، MCC108، MCC112 و MCC578 افزایش یافت، در سایر ژنوتیپ‌ها افزایش سطح شوری باعث کاهش این نسبت شد (جدول ۳).

نتایج نشان داد که به‌جز ژنوتیپ‌های MCC52، MCC58 و MCC578 که در سطح شوری ۱۶dS.m⁻¹ نسبت به شاهد محتوای کلروفیل b کمتری داشتند، در سایر ژنوتیپ‌ها افزایش سطح تنش شوری باعث افزایش محتوای کلروفیل b نسبت به شاهد شد (جدول ۳). همچنین ژنوتیپ‌های MCC52، MCC58، MCC71، MCC112، MCC161 و MCC296 که محتوای کلروفیل b آن‌ها در شوری ۱۲dS.m⁻¹ یافته بود در اثر افزایش شدت شوری به ۱۶dS.m⁻¹ محتوای کلروفیل b آن‌ها کاهش یافت (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین محتوای کلروفیل b مربوط به ژنوتیپ MCC92 در سطح تنش ۱۶dS.m⁻¹ بود و کمترین تغییر نسبت به شاهد را ژنوتیپ MCC161 داشت. باوجوداینکه محتوای کلروفیل b در ژنوتیپ MCC161 در سطح تنش شوری ۱۲dS.m⁻¹ افزایش

جدول ۴- اثر تنش شوری بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های نخود

Table 4. Effect of salinity stress on photosynthetic pigments in chickpea genotypes

کل رنگدانه‌ها (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)			کاروتنوئیدها (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)			ژنوتیپ
$16dS.m^{-1}$	$12dS.m^{-1}$	$0/dS.m^{-1}$	$16dS.m^{-1}$	$12dS.m^{-1}$	$0/dS.m^{-1}$	
$1/26^{c-k}$	$1/0.4^g-m$	$1/21^d-k$	0.173^{a-e}	0.178^{f-j}	0.137^{a-h}	MCC12
$1/34^{c-k}$	$1/47^{c-i}$	$1/30^{c-k}$	0.100^j	0.188^{a-c}	0.152^{a-f}	MCC23
$1/32^{c-k}$	$1/11^e-m$	$1/43^{c-j}$	0.081^{f-j}	0.043^{ij}	0.115^{a-i}	MCC27
$1/42^{c-j}$	$1/47^{b-g}$	$1/24^d-k$	0.108^{b-i}	0.104^{b-i}	0.132^{a-i}	MCC28
0.92^{k-m}	$1/41^{c-j}$	$1/14^e-m$	0.068^{f-j}	0.100^{c-i}	0.150^{a-f}	MCC52
0.92^{k-m}	$1/56^{b-e}$	$1/0.2^i-m$	0.086^{e-j}	0.188^{a-c}	0.116^{a-i}	MCC58
0.72^m	$1/19^d-l$	$1/0.5^g-m$	0.090^j	0.069^{f-j}	0.099^{c-i}	MCC71
$1/0.2^{h-m}$	$1/0.2^i-m$	$1/17^e-m$	0.075^{f-j}	0.063^{f-j}	0.141^{a-h}	MCC72
$2/11^a$	$1/0.6^g-m$	$1/16^e-m$	0.066^{h-m}	0.051^{h-j}	0.133^{a-i}	MCC92
$1/94^{ab}$	$1/73^{a-c}$	$1/23^d-k$	0.121^{a-i}	0.142^{a-f}	0.075^{f-j}	MCC108
$1/44^{c-j}$	$1/56^{b-e}$	$1/11^e-m$	0.145^{a-g}	0.100^{c-i}	0.108^{b-i}	MCC112
$1/42^{c-j}$	$1/64^{a-d}$	$1/43^{c-j}$	0.090^{d-j}	0.064^{f-j}	0.201^a	MCC134
0.73^{lm}	0.99^{j-m}	$1/0.4^g-m$	0.052^{h-j}	0.077^{f-j}	0.100^{c-i}	MCC161
0.000^n	$1/80^{a-c}$	$1/33^{c-k}$	0.100^j	0.093^{c-i}	0.114^{a-i}	MCC208
$1/51^{b-h}$	$2/0.6^a$	$1/32^{c-k}$	0.092^{d-i}	0.194^{ab}	0.144^{a-g}	MCC296
$1/67^{a-d}$	$1/37^{c-k}$	$1/54^{b-f}$	0.122^{a-i}	0.082^{f-j}	0.179^{a-d}	MCC415
$1/19^{e-m}$	$1/0.8^{f-m}$	$1/97^{ab}$	0.074^{f-j}	0.056^{g-j}	0.150^{a-f}	MCC578
ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری	ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری	
0.001^{**}	0.001^{**}	0.001^{**}	0.001^{**}	0.001^{**}	0.001^{**}	P value
		۷۷/۹			۱۹/۱۳	CV%

MCC: کلکسیون نخود مشهد. حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند. **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. CV: ضریب تغییرات.

درصد بقاء و همبستگی منفی معنی‌داری ($r^2 = -0.33^{**}$) بین درصد نشت الکترولیت‌ها و محتوای کاروتنوئیدها مشاهده شد (جدول ۱۰).

بررسی تأثیر تنش شوری بر محتوای کل رنگدانه‌های فتوسنتزی حاکی از افزایش این ویژگی در تمامی ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ‌های MCC12، MCC27، MCC72، MCC92، MCC161، MCC415 و MCC578 در شوری $12dS.m^{-1}$ نسبت به شاهد بود (جدول ۴). بیشترین افزایش محتوای کل رنگدانه‌های فتوسنتزی از تیمار شاهد به $16dS.m^{-1}$ در ژنوتیپ MCC71 و MCC269 به‌ترتیب با 0.770 و 0.760 میلی‌گرم در گرم ماده‌تر مشاهده شد (جدول ۴).

در سطح تنش شوری $16dS.m^{-1}$ ژنوتیپ‌های MCC12، MCC23، MCC28، MCC92، MCC108، MCC112، MCC134، MCC296 و MCC415 محتوای کل رنگدانه‌های فتوسنتزی بیشتری نسبت به شاهد داشتند (جدول ۴). ژنوتیپ‌های MCC52، MCC58، MCC71 و MCC92 باوجود اینکه در سطح تنش شوری $12dS.m^{-1}$ محتوای رنگدانه بیشتری نسبت به شاهد داشتند، اما در اثر تنش شوری $16dS.m^{-1}$ کمترین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را تولید کردند. در تنش شوری $16dS.m^{-1}$ ژنوتیپ‌های MCC92 و MCC108 به‌ترتیب با 44 و 37 درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین افزایش را در مقدار کل رنگدانه‌های فتوسنتزی را داشتند (جدول ۴). از طرفی ژنوتیپ MCC12 با یک درصد افزایش و ژنوتیپ MCC27 با 10 درصد کاهش نسبت به شاهد کمترین تغییر را در اثر تنش شوری $16dS.m^{-1}$ نشان دادند (جدول ۴).

کاروتنوئیدها یکی از رنگدانه‌های کلیدی و مهم سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان هستند، اما آن‌ها به تخریب اکسیداتیو بسیار حساس هستند. در مطالعه حاضر تنش شوری باعث کاهش معنی‌داری در محتوای کاروتنوئیدها در بیشتر ژنوتیپ‌ها شد ولی در ژنوتیپ‌های MCC23، MCC58، MCC108 و MCC296 با افزایش سطح تنش شوری از 0.5 به $12dS.m^{-1}$ این ویژگی افزایش یافت. بررسی ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ MCC296 بیشترین و ژنوتیپ MCC27 کمترین محتوای کاروتنوئیدها را در شوری $dS.m^{-1}$ 12 دارا بودند (جدول ۴).

بیشترین محتوای کاروتنوئیدها در تنش شوری $16dS.m^{-1}$ را ژنوتیپ MCC12 داشت (جدول ۴). در سطح تنش شوری $16dS.m^{-1}$ به‌جز سه ژنوتیپ MCC23، MCC71 و MCC208 که محتوای کاروتنوئیدهای آن‌ها صفر گزارش شد، ژنوتیپ MCC161 کمترین محتوای کاروتنوئیدها را داشت (جدول ۴). نکته قابل تأمل افزایش محتوای کاروتنوئیدها در ژنوتیپ‌هایی بود که در اثر شوری $12dS.m^{-1}$ نسبت به شاهد کاهش داشتند. ژنوتیپ‌های MCC12، MCC27، MCC28، MCC72، MCC92، MCC112، MCC134، MCC415 و MCC578 با اینکه در اثر شوری $12dS.m^{-1}$ محتوای کاروتنوئیدهای کمتری نسبت به شاهد داشتند اما در سطح شوری $16dS.m^{-1}$ محتوای کاروتنوئیدهای بیشتری نسبت به سطح تنش شوری $dS.m^{-1}$ 12 داشتند که احتمال می‌رود به علت نقش کاروتنوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان و حفاظت از فرایندهای فتوشیمیایی کلروپلاست باشد (جدول ۴). بررسی مجموع همبستگی بین صفات نشان داد که رابطه مثبت و معنی‌دار ($r^2 = 0.33^{**}$) بین

ژنوتیپ‌های MCC28 و MCC112 به‌ترتیب با ۸۰ و ۸۳ درصد افزایش بیشترین افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها از با افزایش سطح تنش از شاهد به 1dS.m^{-1} و همچنین ژنوتیپ MCC12 با ۱۰ درصد افزایش نسبت شاهد کمترین افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۵). به‌طورکلی در سطح تنش شوری 1dS.m^{-1} ژنوتیپ‌های MCC134 و MCC23 به‌ترتیب بیشترین و کمترین محتوای کربوهیدرات‌های محلول را دارا بودند (جدول ۵).

با وجود اینکه در اثر شوری 1dS.m^{-1} تمامی ژنوتیپ‌ها نسبت به شاهد محتوای کربوهیدرات‌های محلول بیشتری تولید کردند، اما مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش بین دو سطح شوری نشان داد که پاسخ گیاهان در برابر افزایش شدت تنش شوری متفاوت است (جدول ۵). با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به 1dS.m^{-1} ژنوتیپ‌های MCC71 و MCC12 به‌ترتیب با ۸۲ و ۹ درصد افزایش بیشترین و کمترین تغییرات از نظر کربوهیدرات‌های محلول را داشتند (جدول ۵). با افزایش سطح شوری از ۱۲ به 1dS.m^{-1} در ژنوتیپ‌های MCC12، MCC27، MCC28، MCC52، MCC58، MCC112، MCC134، MCC161، MCC415 و MCC578 محتوای کربوهیدرات‌های محلول کاهش یافت (جدول ۵).

افزایش کربوهیدرات‌های محلول در برگ نخود تحت تنش شوری توسط پژوهشگران به اثبات رسیده است (۲۲ و ۲۵). همچنین پژوهشگران ثابت کرده‌اند که تجمع قند و نشاسته، در شرایط تنش شوری و خشکی باعث تسهیل تنظیم اسمزی در گیاهان می‌شود (۲۶). در مطالعه حاضر با افزایش سطح تنش از تیمار شاهد به 1dS.m^{-1} محتوای کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت اما افزایش بیشتر سطح تنش شوری 1dS.m^{-1} در برخی از ژنوتیپ‌ها که تحمل کمتری به تنش شوری داشتند موجب کاهش یا توقف افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول شد. بررسی همبستگی بین صفات نیز هیچ‌گونه رابطه معنی‌داری بین محتوای کربوهیدرات‌های محلول و درصد بقاء در هیچ‌یک از سطوح شوری نشان نداد (جدول ۱۰).

اثرات تنش شوری بر کاهش محتوای رنگ‌دانه‌ها در نخود گزارش شده است (۲۸). از طرفی با افزایش مدت‌زمان تنش میزان کاهش کلروفیل بیشتر شد. پژوهشگران با بررسی تأثیر تنش شوری بر سیستم فتوسنتزی گیاه نخود بیان داشت که کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌تواند به دلیل تغییر بر ساختار تیلاکوئیدها باشد. همچنین آن‌ها عنوان کردند تنش شوری بر غشاء کلروفیل اثر گذاشته و باعث از بین رفتن تجمع گرانا می‌شود (۸). در مطالعه حاضر همبستگی منفی بین درصد نشت الکترولیت‌ها و محتوای کلروفیل a ($r^2 = -0.24^{**}$) و کاروتنوئیدها ($r^2 = 0.32^{**}$) مشاهده شد (جدول ۱۰). از طرفی بررسی اثر شوری بر ۱۱ ژنوتیپ نخود نشان داد که افزایش کلرید سدیم موجب افزایش محتوای کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها می‌شود (۲۲). بررسی نتایج آزمایش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی نسبت به افزایش شوری بر محتوای کلروفیل a نشان می‌دهند. به‌طوری‌که در ژنوتیپ‌های MCC92، MCC108، MCC112 و MCC296 با افزایش تنش شوری به 1dS.m^{-1} محتوای کلروفیل a آن‌ها افزوده شد که با نتایج به‌دست‌آمده توسط سایر پژوهشگران مشابه است (۲۲) در سایر ژنوتیپ‌ها محتوای کلروفیل a نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳).

تنش اکسیداتیو ایجاد شده در اثر تنش شوری در بافت‌های گیاهی توسط فعالیت کاروتنوئیدها در هر دو سیستم آنزیمی و غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی کاهش می‌یابد (۳۴). به‌طورکلی، افزایش محتوای کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری به گیاه توان مقابله با آسیب‌های ناشی از تنش را می‌دهد. به این دلیل که سبب اتلاف انرژی نوری مازاد و آسیب زنده به دستگاه فتوسنتزی و به دنبال آن حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن فعال می‌شود (۲۴). مطالعات حاکی از افزایش کاروتنوئیدها با افزایش سطح تنش شوری است (۲۲) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

کربوهیدرات‌ها به‌عنوان متابولیک در شرایط تنش عمل می‌کنند و نقش مهمی در محافظت از پتانسیل اسمزی، حفظ کربن، پایداری غشاء و کنترل رادیکال‌های آزاد دارند (۳۲). نتایج آزمایش نشان داد تنش شوری باعث افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول شد (جدول ۵).

جدول ۵- اثر تنش شوری بر محتوای کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و فنل کل در ژنوتیپ‌های نخود

ژنوتیپ			پرولین (میلی گرم بر گرم ماده تر)			فنل کل (میلی گرم بر گرم ماده تر)		
۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹	۰/۵dS.m ⁻¹	۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹	۰/۵dS.m ⁻¹	۱۶dS.m ⁻¹	۱۲dS.m ⁻¹	۰/۵dS.m ⁻¹
۶۸/۸ ^{h-n}	۴۹/۹ ^{no}	۶۴/۱ ^{j-o}	۴/۸۳ ^{a-l}	۳/۲۰ ^{h-m}	۰/۴۰ ^p	۵/۰۹ ^{b-o}	۵/۱۳ ^{b-n}	۴/۶۳ ^{k-o}
۸۰/۴ ^{e-j}	۷۰/۲ ^{h-m}	۴۷/۸ ^o	۴/۳۷ ^{c-h}	۲/۴۲ ^{l-n}	۰/۳۰ ^p	۶/۷۱ ^{d-g}	۴/۵۶ ^{l-p}	۳/۸۰ ^{n-s}
۵۵/۶ ^{m-o}	۶۶/۷ ^{i-o}	۶۸/۶ ^{h-n}	۳/۵۵ ^{g-l}	۳/۷۸ ^{e-j}	۰/۵۱ ^p	۴/۳۴ ^{l-p}	۴/۸۵ ^{j-o}	۱/۳۴ ^u
۸۱/۵ ^{d-j}	۶۵/۷ ^{j-o}	۶۳/۳ ^{j-o}	۵/۷۳ ^{ab}	۴/۶۱ ^{b-g}	۰/۴۵ ^p	۸/۸۶ ^c	۱۱/۸ ^b	۲/۰۰ ^{tu}
۷۸/۸ ^{e-k}	۷۱/۹ ^{h-m}	۶۹/۱ ^{h-m}	۴/۶۹ ^{b-g}	۲/۵۲ ^{k-m}	۰/۴۴ ^p	۵/۵۷ ^{g-m}	۶/۱۲ ^{f-k}	۲/۷۵ ^{q-u}
۱۱۱ ^b	۸۰/۸ ^{e-j}	۱۰۰ ^{b-d}	۵/۷۲ ^{ab}	۳/۰۷ ^{i-m}	۰/۴۴ ^p	۳/۹۳ ^{n-s}	۴/۷۵ ^{j-o}	۲/۴۶ ^{s-u}
۱۰۱ ^{bc}	۶۰/۱ ^{k-o}	۶۵/۹ ^{j-o}	۵/۹۵ ^a	۲/۹۶ ^{j-m}	۰/۹۱ ^{o-q}	۱۴/۸ ^a	۷/۶۶ ^{c-e}	۲/۶۷ ^{t-u}
۷۸/۴ ^{f-k}	۷۱/۳ ^{h-m}	۷۱/۳ ^{h-m}	۴/۹۸ ^{a-e}	۳/۸۶ ^{e-j}	۰/۴۵ ^p	۸/۵۰ ^c	۷/۴۷ ^{c-f}	۴/۶۸ ^{k-o}
۱۳۷ ^a	۱۰۰/۳ ^{b-d}	۹۳/۳ ^{b-g}	۵/۵۵ ^{d-c}	۲/۴۰ ^{l-n}	۰/۵۷ ^p	۵/۲۹ ^{g-n}	۴/۷۱ ^{j-o}	۳/۶۰ ^{o-s}
۷۹/۴ ^{e-j}	۴۵/۶ ^{l-o}	۶۳/۴ ^{j-o}	۴/۲۱ ^{d-i}	۲/۹۶ ^{j-m}	۰/۵۵ ^p	۶/۲۵ ^{e-i}	۴/۷۸ ^{i-o}	۳/۰۸ ^{p-t}
۳۳/۷ ^{h-m}	۵۵/۶ ^{m-o}	۵۷/۴ ^{l-o}	۲/۱۲ ^{m-o}	۲/۲۹ ^{l-n}	۰/۳۹ ^p	۴/۰۷ ^{m-r}	۱۳/۱۷ ^b	۲/۵۳ ^{s-u}
۹۵/۴ ^{b-e}	۷۳/۵ ^{h-m}	۶۴/۴ ^{j-o}	۵/۲۴ ^{a-d}	۳/۸۴ ^{e-j}	۱/۲۶ ^p	۴/۷۷ ^{i-o}	۱۱/۹۷ ^b	۴/۱۹ ^{m-q}
۱۰۰ ^{b-d}	۸۶/۶ ^{c-h}	۷۳/۹ ^{h-m}	۵/۹۵ ^{ab}	۳/۸۷ ^{e-j}	۰/۵۸ ^p	۲/۸۰ ^{q-u}	۷/۹۳ ^{cd}	۳/۸۹ ^{n-s}
۰/۰۰ ^p	۶۰/۵ ^{k-o}	۸۱/۸ ^{d-j}	۰/۰۰ ^r	۳/۳۳ ⁱ⁻ⁿ	۰/۸۴ ^{op}	۰/۰۰ ^v	۶/۶۵ ^{d-g}	۴/۲۶ ^{m-q}
۱۱۱ ^b	۸۱/۳ ^{d-j}	۸۴/۹ ^{c-i}	۵/۲۹ ^{a-d}	۳/۰۶ ^{i-m}	۰/۶۳ ^p	۸/۸۴ ^c	۸/۳۶ ^c	۴/۴۰ ^{l-p}
۷۵/۹ ^{g-l}	۵۵/۷ ^{h-m}	۶۹/۷ ^{h-m}	۳/۶۹ ^{f-k}	۲/۷۵ ^{j-m}	۰/۵۹ ^p	۵/۷۳ ^{f-i}	۸/۶۶ ^c	۲/۶۶ ^{t-u}
۹۶/۶ ^{b-f}	۷۱/۳ ^{h-m}	۷۵/۹ ^{g-l}	۵/۷۰ ^{ab}	۳/۶۵ ^{f-k}	۰/۷۳ ^p	۶/۱۹ ^{e-j}	۶/۵۶ ^{d-h}	۵/۲۸ ^{g-n}
ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری	ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری	ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری
۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}
۱۷/۷			۴۴/۱۲			۶۵/۷		
CV%			CV%			CV%		

MCC: کلکسیون نخود مشهد. حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند. **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. CV: ضریب تغییرات.

حساس به شوری در نخود بیشتر از ژنوتیپ‌های متحمل است (۲۲). لذا افزایش غلظت پرولین در شرایط تنش شوری الزاماً به معنی افزایش تحمل تنش نیست، بلکه می‌تواند ناشی از کاهش مصرف پرولین برای سنتز پروتئین باشد.

بررسی همبستگی بین صفات در مطالعه حاضر نیز حاکی از رابطه منفی و معنی‌دار بین محتوای پرولین و درصد بقاء در ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه در سطوح تنش شوری بود (جدول ۹، ۱۰).

پاسخ ژنوتیپ‌های نخود به تنش شوری از نظر فنل کل متفاوت بود. به گونه‌ای که ژنوتیپ‌های MCC12، MCC27، MCC58، MCC71، MCC108، MCC112، MCC296 و MCC415 محتوای فنل کل کمتری در سطح تنش شوری ۱۲dS.m⁻¹ نسبت به شاهد داشتند (جدول ۵). با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۱۲dS.m⁻¹، ژنوتیپ‌های MCC72 و MCC23 به ترتیب بدون تغییر و با ۳۱ درصد افزایش، کمترین و بیشترین تغییر در محتوای فنل کل را دارا بودند (جدول ۵). تمامی ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ MCC27 در شوری ۱۶dS.m⁻¹ فنل کل بیشتری نسبت به شاهد داشتند (جدول ۵). در شوری ۱۶dS.m⁻¹ ژنوتیپ‌های MCC92، MCC58 و MCC296 بیشترین میزان فنل کل را در بین ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۵). در سطح تنش شوری ۱۶dS.m⁻¹ ژنوتیپ MCC23 با ۶۸ درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین افزایش محتوای فنل کل را نشان داد (جدول ۵).

تجمع فنل در ژنوتیپ‌های متحمل، می‌تواند یک مکانیسم سازگار سلولی برای تنظیم رادیکال‌های آزاد اکسیژن و جلوگیری از آسیب‌های درون‌سلولی در هنگام تنش باشد. ترکیب‌های فنلی آنتی‌اکسیدان‌های نیرومندی در بافت‌های گیاهی تحت تنش هستند و این ویژگی به علت ساختار اسکلتی و گروه فنلی این متابولیت‌ها است (۱۵). به‌طور کلی افزایش ترکیب‌های فنلی وابسته به افزایش فعالیت آنزیم‌های

تنش شوری باعث افزایش محتوای پرولین در ژنوتیپ‌های نخود شد (جدول ۵). در سطح تنش شوری ۱۲dS.m⁻¹ ژنوتیپ‌های MCC161 و MCC72 بیشترین و MCC112 و MCC92 کمترین محتوای پرولین را داشتند (جدول ۵). با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۱۲dS.m⁻¹ ژنوتیپ‌های MCC71 و MCC134 به ترتیب با ۶۹ و ۶۷ درصد کمترین و MCC28 و MCC72 با ۹۰ و ۸۸ درصد بیشترین افزایش محتوای پرولین را نشان دادند (جدول ۵).

با افزایش سطح تنش شوری از ۱۲ به ۱۶dS.m⁻¹ محتوای پرولین در تمامی ژنوتیپ‌ها به جز MCC112 افزایش یافت (جدول ۵). در سطح تنش شوری ۱۶dS.m⁻¹ ژنوتیپ‌های MCC71 و MCC161 بیشترین و MCC27 و MCC415 کمترین محتوای پرولین را دارا بودند (جدول ۵). با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۱۶dS.m⁻¹ محتوای پرولین در ژنوتیپ‌های MCC23، MCC28، MCC58، MCC12 و MCC72 بیش از ۹۰ درصد افزایش یافت (جدول ۵).

پرولین یک اسمولیت خاص در گیاهان است که به سرعت در شرایط کمبود آب ناشی از تنش شوری افزایش می‌یابد و به گیاهان برای حفظ آماز سلولی کمک می‌کند (Dashti et al., 2017). (۹، ۷). افزایش سطح پرولین در اثر تنش به دلیل تجزیه پروتئین است (۱۹). مطالعه اثرات شوری بر گیاه نخود نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری، میزان پرولین در برگ و ریشه افزایش می‌یابد (۲۵). همچنین بیان شده که گیاهان در شرایط تنش شوری با تحریک سنتز و تجمع اسمولیت‌های آلی نظیر پرولین در پیکره خود سطوح بالایی از هدایت روزنه‌ای را حفظ می‌کنند. به‌طوری‌که این اسمولیت‌ها قادرند با بالا نگه داشتن رطوبت نسبی برگ تحت تنش شوری، سبب ادامه تبادلات روزنه‌ای، ادامه فتوسنتز و در نهایت حفظ کارایی و رشد گیاه تحت شرایط تنش شوری می‌شوند (۱۱). از طرفی بیان شده که تجمع پرولین در ژنوتیپ‌های

لازم به ذکر است ژنوتیپ MCC208 در سطح تنش 16 dS.m^{-1} کامل از بین رفت و پتانسیل اسمزی آن صفر در نظر گرفته شد (جدول ۶).

گیاهان معمولاً با کاهش پتانسیل اسمزی خود از طریق تجمع یون‌ها و ترکیب‌های آلی در فرایندی که به‌عنوان تنظیم اسمزی شناخته می‌شود، به شوری پاسخ می‌دهند. باوجود روزهایی که در برگ‌ها وجود دارد برای ورود دی‌اکسید کربن برای فتوسنتز، آب در برگ‌ها تبخیر می‌شود و به‌واسطه مرتبط بودن بخش‌های گیاه به یکدیگر این کمبود آب برگ از ریشه و خاک کشیده می‌شود. وجود نمک در ناحیه ریشه پتانسیل آب موجود در برگ را برای خارج کردن آب از خاک کاهش می‌دهد (و بیشتر منفی می‌شود) و باعث کاهش میزان آب گیاه در روشی مشابه خشک شدن خاک می‌شود. با خشک شدن خاک، رشد برگ کاهش می‌یابد و به‌محض دستیابی به پتانسیل آب برگ آستانه $0.8 -$ مگا پاسکال، روزه‌ها شروع به بسته شدن می‌کنند و فتوسنتز کاهش می‌یابد. گیاهان ممکن است با کاهش پتانسیل اسمزی با تجمع نمک در برابر شوری مقاومت کنند که این امر باعث بزرگ شدن سلول‌ها و باز نگه‌داشتن روزه‌ها برای جذب دی‌اکسیدکربن می‌شود (۳۰). در آزمایش حاضر پتانسیل اسمزی منفی‌تری در تنش شوری 16 dS.m^{-1} مشاهده شد که این کاهش نشانگر تجمع املاح و ترکیب‌های آلی در اثر تنش شوری برای کاهش کمبود آب است.

درگیر در متابولیسم ترکیب‌های فنلی است. افزایش فنل‌های محلول برای دخالت در بیوسنتز لیگنین نیز منعکس‌کننده نوعی تغییر آناتومیکی القا شده توسط تنش مثل افزایش پایداری دیواره سلولی و ایجاد سد فیزیکی در برابر تنش شوری است (۱). در صورتی که گیاه زمان طولانی‌تری در معرض تنش شوری قرار گیرد، اثر تجمعی و سمیت نمک موجب افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌گردد. نتایج این مطالعه نشان دهنده تولید فنل بیشتر در سطوح بالای تنش بود (جدول ۵).

تنش شوری باعث کاهش (منفی‌تر شدن) پتانسیل اسمزی در تمامی ژنوتیپ‌ها شد (جدول ۶). کمترین و بیشترین پتانسیل اسمزی در سطح تنش شوری 12 dS.m^{-1} به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MCC578 و MCC108 بود (جدول ۶). با افزایش سطح تنش شوری از شاهد به 12 dS.m^{-1} ژنوتیپ MCC578 بیشترین ($3/44$ برابر) و ژنوتیپ‌های MCC134 و MCC12 کمترین کاهش (۸۶ درصد) پتانسیل اسمزی دارا بودند (جدول ۶). در سطح تنش شوری 16 dS.m^{-1} کمترین و بیشترین میزان پتانسیل اسمزی به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های MCC578 و MCC27 مشاهده شد (جدول ۶). در دو سطح تنش شوری ۱۲ و 16 dS.m^{-1} به‌جز دو ژنوتیپ MCC27 و MCC72 که در سطح شوری 12 dS.m^{-1} پتانسیل اسمزی کمتری نسبت به سطح شوری 16 dS.m^{-1} داشتند، در دیگر ژنوتیپ‌ها میزان پتانسیل اسمزی در شوری 16 dS.m^{-1} پایین‌تر از سطح شوری 12 dS.m^{-1} و شاهد بود.

جدول ۶- اثر تنش شوری بر پتانسیل اسمزی نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ‌های نخود
Table 6. Effect of salinity stress on osmotic potential of sodium to potassium ratio in chickpea genotypes

نسبت سدیم به پتاسیم			پتانسیل اسمزی (مگا پاسکال)			ژنوتیپ
16 dS.m^{-1}	12 dS.m^{-1}	0.5 dS.m^{-1}	16 dS.m^{-1}	12 dS.m^{-1}	0.5 dS.m^{-1}	
$2/98^{d-g}$	$1/52^{lm}$	$-1/90^{n}$	$-3/180^{b-d}$	$-1/93^{no}$	$-1/0.3^q$	MCC12
$2/69^{d-h}$	$2/45^{e-j}$	$-1/20^{n}$	$-3/97^{a-c}$	$-2/78^{g-k}$	$-0/99^{q}$	MCC23
$2/0.3^{h-l}$	$1/69^{i-l}$	$-1/25^{n}$	$-1/185^{op}$	$-2/11^{l-o}$	$-0/90^{q}$	MCC27
$6/32^a$	$2/46^{e-j}$	$-1/27^{n}$	$-4/51^a$	$-3/53^{c-f}$	$-1/21^{p-q}$	MCC28
$2/30^{f-l}$	$2/65^{d-h}$	$-1/29^{n}$	$-3/11^{e-i}$	$-2/38^{j-o}$	$-0/98^{q}$	MCC52
$3/22^{c-e}$	$2/36^{e-l}$	$-1/51^{n}$	$-3/51^{c-f}$	$-3/12^{h-i}$	$-1/23^{p-q}$	MCC58
$4/81^b$	$2/43^{e-j}$	$-1/50^{n}$	$-4/32^{ab}$	$-2/19^{k-o}$	$-1/14^q$	MCC71
$3/41^{cd}$	$3/41^{c-f}$	$-1/81^{mn}$	$-2/52^{i-n}$	$-2/76^{g-l}$	$-1/22^{p-q}$	MCC72
$2/66^{d-h}$	$1/68^{i-m}$	$-1/0.3^{n}$	$-2/31^{d-h}$	$-2/67^{h-m}$	$-0/91^{p-q}$	MCC92
$1/89^{h-l}$	$1/52^{lm}$	$-1/47^{n}$	$-2/67^{h-m}$	$-1/82^{op}$	$-0/92^{q}$	MCC108
$1/53^{k-m}$	$1/94^{h-l}$	$-1/92^{n}$	$-2/91^{m-o}$	$-1/94^{no}$	$-0/96^{q}$	MCC112
$2/13^{g-l}$	$1/63^{j-m}$	$-1/0.7^{n}$	$-3/58^{c-f}$	$-2/0.3^{m-o}$	$-1/0.9^q$	MCC134
$2/40^{e-k}$	$2/29^{f-l}$	$-1/45^{n}$	$-4/16^{a-c}$	$-2/99^{f-j}$	$-1/15^q$	MCC161
$0/0.0^o$	$1/41^{lm}$	$-1/22^{n}$	$-0/0.0^f$	$-2/48^{j-m}$	$-1/28^{p-q}$	MCC208
$3/87^c$	$2/58^{d-h}$	$-1/41^{n}$	$-3/33^{d-g}$	$-2/97^{f-j}$	$-1/11^q$	MCC296
$2/49^{e-j}$	$2/16^{f-l}$	$-1/91^{n}$	$-3/70^{b-e}$	$-2/58^{i-m}$	$-1/10^q$	MCC415
$2/55^{d-i}$	$2/26^{f-l}$	$-1/55^{n}$	$-4/61^a$	$-3/65^{c-e}$	$-1/0.6^q$	MCC578
ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری	ژنوتیپ×شوری	ژنوتیپ	شوری	
$0/0.1^{**}$	$0/0.1^{**}$	$0/0.1^{**}$	$0/0.1^{**}$	$0/0.1^{**}$	$0/0.1^{**}$	P value
		۲/۱۴			۲۳/۸	CV%

MCC: کلکسیون نخود مشهد. حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند. **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد. CV: ضریب تغییرات.

12 dS.m^{-1} و 16 dS.m^{-1} برابر بود (جدول ۶). بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم مربوط به ژنوتیپ MCC28 با نسبت $6/32$ بود و پس از آن ژنوتیپ MCC71 با نسبت $4/81$ بود (جدول ۶).

نسبت سدیم به پتاسیم در ژنوتیپ‌های نخود در اثر شوری افزایش یافت. به‌طوری‌که در تمامی ژنوتیپ‌ها به‌جز دو ژنوتیپ MCC52 و MCC112 بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم مربوط به سطح شوری 16 dS.m^{-1} بود (جدول ۶). در ژنوتیپ MCC72 نسبت سدیم به پتاسیم در دو سطح شوری

بررسی شاخص تحمل به شوری بر اساس وزن خشک اندام هوایی نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی به چهار گروه تقسیم شدند. در گروه دوم که شامل پنج ژنوتیپ MCC27، MCC52، MCC72، MCC112 و MCC578 بود به‌جز ژنوتیپ‌های MCC52 و MCC578 سایر ژنوتیپ‌ها از درصد بقای بالای ۶۲ درصد در سطح تنش شوری 16dS.m^{-1} برخوردار بودند. در گروه سوم تنها ژنوتیپ MCC108 قرار گرفت که این ژنوتیپ نیز دارای ۸۲ درصد در سطح تنش شوری 16dS.m^{-1} بود (جدول ۷)؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که این دو گروه از نظر شاخص تحمل به شوری بر اساس وزن خشک اندام هوایی از تحمل به شوری بالایی برخوردار هستند.

در مقادیر زیاد سدیم، از جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم در بافت‌های گیاهی ممانعت به عمل می‌آید که نتیجه آن افزایش نسبت سدیم به پتاسیم می‌باشد. پژوهشگران گزارش کردند که حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در بافت‌های گیاهی امری حیاتی در تحمل به شوری آن‌ها می‌باشد (۳). همچنین پژوهش‌ها نشان داده است در شرایط تنش شوری توان گزینشی گیاهان برای پتاسیم یکی از مکانیسم‌های اصلی تحمل گیاه به شوری می‌باشد و گیاهانی که در این شرایط از نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری برخوردار باشند معمولاً شرایط تنش را بهتر تحمل می‌کنند (۲۲). بررسی اثر شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی شش ژنوتیپ نخود و رشد اولیه گیاهچه نشان داده است که افزایش تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر نسبت پتاسیم به سدیم دارد (۳۱).

جدول ۷- شاخص تحمل به شوری ۱۷ ژنوتیپ نخود (بر اساس وزن خشک بوته) و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس گروه‌بندی Kmean
Table 7. Salinity tolerance index of 17 chickpea genotypes (based on plant dry weight) and their ranking according to Kmean grouping

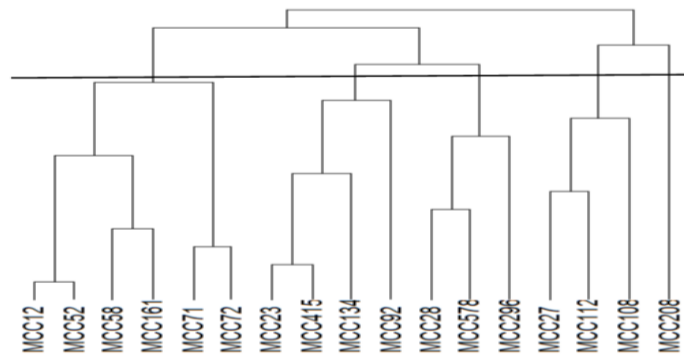
ژنوتیپ	شاخص تحمل به شوری (SRI)	
	16dS.m^{-1}	12dS.m^{-1}
MCC12	۰/۷۶۲	۱/۳۹۰
MCC23	۰/۹۳۳	۱/۳۰۹
MCC27	۱/۲۸۶	۱/۰۹۴
MCC28	۰/۶۰۹	۱/۰۹۴
MCC52	۱/۱۹۹	۰/۹۳۱
MCC58	۰/۷۵۴	۰/۸۷۱
MCC71	۰/۵۶۹	۰/۸۲۱
MCC72	۱/۴۷۵	۰/۹۸۲
MCC92	۱/۰۱۲	۰/۹۴۹
MCC108	۱/۸۱۹	۳/۰۱۸
MCC112	۱/۱۶۸	۰/۹۸۴
MCC134	۰/۵۳۲	۰/۹۲۶
MCC161	۰/۵۹۱	۰/۸۲۰
MCC208	۰/۷۳۴	۰/۰۰۰
MCC296	۰/۹۸۰	۰/۸۱۲
MCC415	۰/۶۸۵	۰/۸۵۴
MCC578	۱/۴۰۸	۰/۹۴۱

MCC: کلکسیون نخود مشهد. SRI: شاخص تحمل به شوری

رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نسبت به ژنوتیپ‌های سایر گروه‌ها داشتند (جدول ۸). میانگین ژنوتیپ‌های گروه چهارم از نظر کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، فنل کل، پتانسیل اسمزی و نسبت سدیم به پتاسیم از میانگین کل کمتر بودند. کمتر بودن میانگین گروه نسبت به میانگین کل از نظر نسبت سدیم به پتاسیم نشان دهنده ورود کمتر سدیم به اندام هوایی یا مقدار بیشتر پتاسیم در این ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در میان گروه‌ها تنها ژنوتیپ‌های گروه چهارم میانگین کمتری از نظر نسبت سدیم به پتاسیم در مقابل میانگین کل داشتند. این امر ممکن است نشان دهنده تأثیر کم صفات کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و فنل کل در تحمل به شوری این ژنوتیپ‌ها باشد. بررسی همبستگی بین صفات نیز نشان دهنده رابطه منفی بین کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و فنل کل با درصد بقا در سطوح تنش شوری بود (جدول ۸). به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده برتری نسبی ژنوتیپ‌های گروه چهارم از نظر صفات مؤثر در تحمل به تنش شوری بود.

نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود بر اساس تمامی صفات مورد مطالعه، نشان‌دهنده قرارگیری آن‌ها در پنج گروه مجزا بود. به‌ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ ژنوتیپ در گروه‌های اول تا پنجم قرار گرفتند (شکل ۱).

مقایسه میانگین گروه‌ها با میانگین کل نشان داد که درصد بقا در ژنوتیپ‌های متعلق به گروه چهارم (MCC108 و MCC112) نسبت به میانگین کل با ۱۸/۱ درصد برتر بود همچنین در ژنوتیپ‌های گروه یک (MCC52، MCC12، MCC58، MCC71، MCC72 و MCC161) نیز از نظر درصد بقا میانگین گروه ۲/۱۶ درصد از میانگین کل بیشتر بود. در ژنوتیپ‌های گروه یک و چهار از نظر درصد نشت الکترولیت‌ها میانگین گروه‌ها از میانگین کل کمتر بود اما این اختلاف در گروه چهارم ۲/۴ درصد کمتر از گروه یک بود. در ژنوتیپ‌های سایر گروه‌ها میانگین گروه از میانگین کل از نظر درصد بقا کمتر و از نظر درصد نشت الکترولیت‌ها بیشتر بودند. ژنوتیپ‌های گروه دوم، سوم و چهارم برتری نسبی از نظر



شکل ۱- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود بر اساس صفات مورد مطالعه تحت شرایط کنترل شده.
MCC: کلکسیون نخود مشهد

جدول ۸ - میانگین و انحراف از میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود
Table 8. Mean and deviation from the mean of groups obtained from cluster analysis for studied traits in chickpea genotypes

گروه										ژنوتیپ
5		4		3		2		1		
MCC208		MCC108, MCC112		MCC28, MCC296, MCC578		MCC23, MCC92, MCC134, MCC415		MCC12, MCC52, MCC58, MCC71, MCC72, MCC161		
Δ	μ	Δ	μ	Δ	μ	Δ	μ	Δ	μ	صفات
-۹/۹۹	۶۴/۲	۱۸/۱	۹۲/۳	-۱۴/۵	۵۹/۷	-۳/۳۸	۷۰/۸	۲/۱۶	۷۶/۴	بقاء (%)
۳/۱۸	۹۰/۶	-۲/۷۳	۸۴/۷	۱/۱۲	۸۸/۵	-۵/۴۰	۸۷/۹	-۰/۲۷۸	۸۷/۱	نشت الکترولیت‌ها (درصد)
-۰/۱۱۰	-۰/۵۸۷	-۰/۱۱۹	-۰/۸۱۶	-۰/۱۲۷	-۰/۸۲۴	-۰/۰۲۳	-۰/۷۲۰	-۰/۱۰۶	-۰/۵۹۱	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۰/۱۰۸	-۰/۳۸۹	-۰/۰۱۳	-۰/۵۱۰	-۰/۰۳۳	-۰/۵۳۱	-۰/۱۳۳	-۰/۶۳۱	-۰/۰۸۲	-۰/۴۱۵	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۰/۴۴۸	۱/۰۴	-۰/۱۹۰	۱/۶۸	-۰/۳۰۳	۱/۷۹	-۰/۲۰۲	۱/۲۹	-۰/۰۳۲	۱/۴۶	نسبت کلروفیل a به b
-۰/۰۳۵	-۰/۰۶۹	-۰/۰۰۰	-۰/۱۰۴	-۰/۰۱۳	-۰/۱۱۷	-۰/۰۰۷	-۰/۱۱۱	-۰/۰۰۷	-۰/۰۹۷	کاروتنوئیدها (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۰/۲۵۴	۱/۰۴	-۰/۱۳۱	۱/۴۳	-۰/۱۷۳	۱/۴۷	-۰/۱۶۴	۱/۴۶	-۰/۱۹۵	۱/۱۰	کل رنگ‌دانه‌ها (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۱/۹۵	۳/۶۴	-۰/۶۵۶	۴/۹۴	۱/۳۴	۶/۹۳	-۰/۰۲۸	۵/۵۵	-۰/۰۴۵	۵/۶۴	کربوهیدرات‌های محلول (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۱/۳۹	۱/۳۹	-۰/۵۰۷	۲/۲۸	-۰/۵۳۲	۳/۳۲	-۰/۰۲۶	۲/۷۵	-۰/۱۸۴	۲/۹۶۹	پرولین (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۲۷/۴	۴۷/۵	-۱۰/۶	۶۴/۳	۶/۲۵	۸۱/۱	۵/۵۹	۸۰/۵	۷/۱۵	۸۲/۰	فنل کل (میلی گرم بر گرم ماده‌تر)
-۱/۰۵	۱/۲۵	-۰/۵۹۸	-۱/۷۰	-۰/۵۸۷	-۲/۸۹	-۰/۰۹۲	-۲/۳۹	-۰/۱۴۳	-۲/۴۴	پتانسیل اسمزی (مگا پاسکال)
-۱/۲۰	-۰/۵۴۴	-۰/۴۹۵	۱/۲۵	-۰/۶۲۶	۲/۳۷	-۰/۲۰۲	۱/۵۴	-۰/۳۸۱	۲/۱۲	نسبت سدیم به پتاسیم

Δ: میانگین گروه، Δ: اختلاف از میانگین

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های نخود در شاهد (0.5 dS.m^{-1}) (قطر پایین) و 12 dS.m^{-1} (قطر بالا) و 12 dS.m^{-1} (زیر قطر) و 0.5 dS.m^{-1} (بالای قطر)
Table 9. Correlation coefficients between the studied traits of chickpea genotypes in the control (0.5 dS.m^{-1}) (above diameter) and 12 dS.m^{-1} (below diameter)

	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	بقاء
۲	-۰/۲۰	-۰/۱۹	-۰/۲۷*	-۰/۳۲*	-۰/۱۴	-۰/۲۰	-۰/۳۰*	-۰/۲۶	-۰/۱۹	-۰/۰۸	۱	-۰/۲۰	نشت الکترولیت‌ها
۳	-۰/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۰۵	-۰/۸۰**	-۰/۳۱*	-۰/۳۹**	-۰/۳۹**	۱	-۰/۱۲	-۰/۰۸	کلروفیل a
۴	-۰/۱۷	-۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۱۹	-۰/۳۹**	-۰/۸۵**	-۰/۴۲**	-۰/۶۱	۱	-۰/۶۵**	-۰/۰۷	-۰/۰۱	کلروفیل b
۵	-۰/۱۷	-۰/۱۵	-۰/۰۷	-۰/۰۸	-۰/۲۵	-۰/۲۰	-۰/۳۱*	۱	-۰/۴۰	-۰/۳۵**	-۰/۱۷	-۰/۰۹	نسبت کلروفیل a به b
۶	-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۲۰	-۰/۲۲	-۰/۵۵**	۱	-۰/۰۴	-۰/۵۶**	-۰/۵۴**	-۰/۲۱	-۰/۰۹	کاروتنوئیدها
۷	-۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۰۰	-۰/۲۱	-۰/۲۸*	۱	-۰/۶۹**	-۰/۰۵	-۰/۸۶**	-۰/۹۳**	-۰/۰۱	-۰/۰۶	کل رنگ‌دانه‌ها
۸	-۰/۲۲	-۰/۰۲	-۰/۰۹	-۰/۱۵	۱	-۰/۲۰	-۰/۱۵	-۰/۰۷	-۰/۲۶	-۰/۱۹	-۰/۱۱	-۰/۲۱	کربوهیدرات‌های محلول
۹	-۰/۰۹	-۰/۳۲*	-۰/۰۶	۱	-۰/۲۹*	-۰/۲۳*	-۰/۳۲*	-۰/۰۲	-۰/۱۷	-۰/۱۹	-۰/۰۸	-۰/۲۹*	پرولین
۱۰	-۰/۳۰*	-۰/۰۳	۱	-۰/۰۲	-۰/۱۵	-۰/۱۷	-۰/۰۱	-۰/۰۰	-۰/۲۲	-۰/۱۵	-۰/۲۱	-۰/۲۸*	فنل کل
۱۱	-۰/۳۱*	۱	-۰/۴۰**	-۰/۳۷**	-۰/۰۱	-۰/۱۳	-۰/۰۹	-۰/۱۴	-۰/۱۶	-۰/۱۳	-۰/۵۰**	-۰/۵۶**	پتانسیل اسمزی
۱۲	۱	-۰/۴۱**	-۰/۲۰	-۰/۰۴	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۰/۲۵	-۰/۰۳	-۰/۰۸	-۰/۰۷	-۰/۲۷*	-۰/۲۷*	نسبت سدیم به پتاسیم

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های نخود شور^۱ ۱۶dS.m^{-۱} (قطر بالا) و کل سطوح تنش شوری (قطر پایین)

Table 10. Correlation coefficients between the studied traits o16dS.m⁻¹ salinity chickpea genotypes (above diameter) and total salinity stress levels (below diameter)

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱. بقاء	۱	-۰/۶۳**	۰/۲۷*	۰/۱۸	-۰/۱۴	۰/۱۸	-۰/۲۶	۰/۱۹	-۰/۰۸	-۰/۰۷	-۰/۲۷*	-۰/۱۱
۲. نشت الکترولیت‌ها	-۰/۵۸**	۱	-۰/۵۸**	-۰/۲۱	-۰/۵۳**	-۰/۳۶**	-۰/۴۶**	-۰/۲۹*	-۰/۴۲**	-۰/۳۶**	-۰/۲۰	-۰/۱۱
۳. کلروفیل a	۰/۲۹**	-۰/۲۴**	۱	۰/۵۰**	۰/۶۴**	۰/۵۷**	۰/۸۷**	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۳۹**	۰/۲۴	۰/۱۱
۴. کلروفیل b	-۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۴۵**	۱	-۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۸۶**	۰/۱۷	۰/۳۰*	۰/۵۴**	۰/۲۹*	۰/۲۲
۵. نسبت کلروفیل a به b	۰/۳۸**	-۰/۵۲**	۰/۵۰**	-۰/۳۸*	۱	۰/۴۱**	۰/۲۸*	۰/۱۹	۰/۳۹**	۰/۳۳**	۰/۳۴**	۰/۱۲
۶. کاروتنوئیدها	۰/۳۴**	-۰/۳۲**	۰/۵۱**	۰/۲۰**	۰/۲۵**	۱	۰/۵۳**	-۰/۱۲	۰/۰۷	-۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۷
۷. کل رنگ‌دانه‌ها	۰/۱۸*	-۰/۰۹	۰/۸۷**	۰/۸۲**	۰/۱۱	-۰/۵۳**	۱	۰/۱۸	۰/۳۱*	۰/۵۲**	۰/۳۰*	۰/۱۹
۸. کربوهیدرات‌های محلول	-۰/۱۲	۰/۳۶**	۰/۱۶	۰/۲۹**	-۰/۱۴	-۰/۲۴**	۰/۲۱**	۱	۰/۵۶**	۰/۴۲**	۰/۵۴**	۰/۷۵**
۹. پرولین	-۰/۶۳**	۰/۵۳**	-۰/۰۸	۰/۳۰**	-۰/۲۸**	-۰/۳۷**	۰/۰۷	۰/۵۶**	۱	۰/۸۲**	۰/۸۴**	۰/۶۹**
۱۰. فنل کل	-۰/۲۳**	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۳۳**	۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۲۲**	۰/۱۸*	۰/۴۷**	۱	۰/۷۰**	۰/۴۸**
۱۱. پتانسیل اسمزی	-۰/۶۵**	۰/۵۷**	-۰/۰۵	۰/۲۹**	-۰/۲۲**	-۰/۲۷**	۰/۰۹	۰/۵۳**	۰/۹۰**	۰/۵۰**	۱	۰/۶۷**
۱۲. نسبت سدیم به پتاسیم	۰/۵۷**	۰/۵۸**	-۰/۰۸	۰/۲۸**	-۰/۳۱**	-۰/۲۶**	۰/۰۷	۰/۶۳**	۰/۸۴**	۰/۳۹**	۰/۸۵**	۱

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد

نتیجه‌گیری کلی

مکانیسم‌های مقاومتی بهتری از خود نشان دادند و تحمل به تنش شوری داشتند. تجزیه خوشه‌ای و مقایسه میانگین گروه‌ها با میانگین کل نشان داد که درصد بقاء در ژنوتیپ‌های MCC108 و MCC112 نسبت به میانگین کل برتر بودند، بنابراین مطالعات تکمیلی در شرایط مزرعه روی این دو ژنوتیپ توصیه می‌گردد.

به‌طور کلی بین ژنوتیپ‌های نخود، تنوع زیادی از نظر صفات فیزیولوژیک وجود داشت. در این پژوهش، با بررسی اثرات دو سطح تنش شوری بر ژنوتیپ‌های نخود مشخص شد که شوری تأثیر منفی بر صفات مورد بررسی داشت، ولی بعضی ژنوتیپ‌ها کمتر تحت تأثیر اثرات شوری قرار گرفتند و

منابع

- Adil, H.I., H.I. Cetin, M.E. Yener and A. Bayindirh. 2007. Subcritical (carbon dioxide + ethanol) extraction of polyphenols from apple and peach pomaces, and determination of the antioxidant activities of the extracts. *The Journal of Supercritical Fluids*, 43: 55-63.
- Ahammed, G.J., Y. Li, X. Li, W.Y. Han and S. Chen. 2018. Epigallocatechin-3-gallate alleviates salinity-retarded seed germination and oxidative stress in tomato. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4): 1349-1356.
- Ashraf, M. and T. McNeilly. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(2): 157-174.
- Askary, M., A.A. Maghsoudi Moud and V.R. Saffari. 2013. Investigation of some physiological characteristics and grain yield of Corn (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(3): 93-103 (In Persian).
- Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Berger, E., O. Fror and R.B. Schafer. 2019. Salinity impacts on river ecosystem processes: a critical mini-review. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1764): 20180010.
- Bulsecio, A.N., A.E. Giblin, J. Tucker, A.E. Murphy, J. Sanderman, K. Hiller-Bittrolff and J.L. Bowen. 2019. Nitrate addition stimulates microbial decomposition of organic matter in salt marsh sediments. *Global Change Biology*, 25(10): 3224-3241.
- Chaudhary, D. and S.S. Sindhu. 2017. Amelioration of salt stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) by coinoculation of ACC deaminase-containing rhizospheric bacteria with *Mesorhizobium* strains. *Legume Research-An International Journal*, 40(1): 80-86.
- Dashti, H., W.M. Westler, M. Tonelli, J.R. Wedell, J.L. Markley and H.R. Eghbalnia. 2017. Spin system modeling of nuclear magnetic resonance spectra for applications in metabolomics and small molecule screening. *Analytical chemistry*, 89(22): 12201-12208.
- Dere, S., T. Gines and R. Sivaci. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22: 13-17.
- Dhingra, H.R. 2014. Effect of salinity stress on morpho-physiological, biochemical and yield characters of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19(4): 393-398.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1951. A colorimetric method for the determination of sugars. *Nature*. 168:167.
- FAOSTAT. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. <https://www.fao.org/home/en>
- Fatiha, K., H. Abdelkrim and B. Abdelkader. 2019. Effect of salinity on morpho-physiological parameters and nitrogen content in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agricultural Science and Technology*, 11(2): 154-160.
- Firuzeh, R., N.R.A. Khavarinejad, F. Najaf and S. Saadatmand. 2016. Effect of gibberellin on the activity of antioxidant enzymes in savory plant (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5 (16): 45-56.
- Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-907.
- Havaux, M. 1998. Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. *Trends Plant Sciences*, 3: 147-151.
- Hoagland, D.R. and D.L. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular*. 347.
- Ibrahim, M.H., H.Z.E. Jaafar, A. Rahmat and Z.A. Rahman. 2012. Involvement of nitrogen in flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (*Kacip fatimah*). *International Journal of Molecular Sciences*, 13: 393-408.
- Jabari, F., A. Ahmadi and K. Poustini. 2006. Relationships between anti-oxidant enzymes activities and chlorophyll content of different wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science*, 37(1): 307-316.

21. Jomea-Bidokhti, A. 2013. The study of growth characteristics, yield and grain yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under the effect salinity. M.Sc. Thesis. University of Birjand Iran. (In Persian).
22. Kafi, M., A. Bagheri, J. Nabati, M. Zare Mehrjerdi and A. Masomi. 2011. Effect of salinity on some physiological variables of 11 chickpea genotypes under hydroponic conditions. Science Technology Greenhouse Culture-Isfahan University Technology, 1: 55-70. (In Persian).
23. Katerji, N., J.W. van Hoorn, A. Hamdy and M. Mastrorilli. 2003. Salinity effect on crop development and yield analysis of salt tolerance according to several classification methods. Agriculture Water Management, 62: 37-66.
24. Kovac, D., B. Vesela, K. Klem, K. Vecerova, Z.M. Kmecova, J. Penuelas and O. Urban. 2020. Correction of PRI for carotenoid pigment pools improves photosynthesis estimation across different irradiance and temperature conditions. Remote Sensing of Environment, 244: 111834.
25. Kumar, N. 2018. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under saline irrigation. PhD Thesis, Chaudhary Charan Singh Haryana Agricultural University. 83 pp.
26. Mahajan, S. and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444: 139-158.
27. Muchate, N.S., G.C. Nikalje, N.S. Rajurkar, P. Suprasanna and T.D. Nikam. 2016. Plant salt stress: adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. The Botanical Review, 82(4): 371-406.
28. Mudgal, V., N. Madaan, A. Mudgal and S. Mishra. 2009. Changes in growth and metabolic profile of chickpea under salt stress. Applied of Biosciences, 23: 1436-1446.
29. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167(3): 645-663.
30. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
31. Ozaktan, H., C.Y. Ciftci, M.D. Kaya, S. Uzun, O. Uzun and G. Akdogan. 2018. Chloride salts inhibit emergence and seedling growth of chickpea rather than germination. Legume Research-An International Journal, 41(1): 60-66.
32. Parvaiz, A. and S. Satyawati. 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. Plant Soil Environmental, 54: 89-99.
33. Premachandra, G.S., H. Saneoka, M. Kanaya and S. Ogata. 1991. Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. Journal of Experimental Botany, 42: 167-171.
34. Prochazkova, D., R. Sairam, G. Srivastava and D. Singh. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. Plant Science, 161: 765-771.
35. Roy, F., J. Boye and B. Simpson. 2010. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. Food Research International, 43: 432-42.
36. Sharma, H.C., C.P. Srivastava, C. Durairaj and C.L.L. Gowda. 2010. Pest management in grain legumes and climate change. In: Yadav, S.S., D.L. McNeil, R. Redden, and S.A. Patil, (eds), Climate change and management of cool season grain legume crops. 115-140 pp., Springer, Dordrecht.
37. Shi, D. and Y. Sheng. 2004. Effect of various salts alkaline mixed stress conditions on sunflower seedling and analysis of their stress factors. Environmental and Experimental Botany, 54: 8-21.
38. Silva, P. and H. Geros. 2009. Regulation by salt of vacuolar H⁺-ATPase and H⁺-pyrophosphatase activities and Na⁺/H⁺ exchange. Plant Signaling and Behavior, 4: 718-726.
39. Singleton, V.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 16 (3): 144-158.
40. Tandon, H.L.S. 1995. Methods of analysis of soils, plants, water and fertilizers. FDCO, New Delhi.

Effect of Salinity Stress on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes in Seedling Stage under Hydroponic Conditions

Mohammadreza Alizadeh Momen¹, Hamidreza Khazaei² and Jafar Nabati³

1- M.Sc. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Assistant Professor, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad,

(Corresponding author: h.khazaie@um.ac.ir)

Received: 5 February, 2022 Accepted: 17 May, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Salinity is a global challenge to crop production. Chickpea grow under a wide range of climatic conditions and is highly sensitive to salt stress. Salt stress causes osmotic, ionic and secondary stresses, impairing various metabolic processes in plants and eventually decreases plant yield. Using salinity tolerant chickpea cultivars could be effective in increasing production and productivity of saline fields due to their ability in biological nitrogen fixation. The aim of the present study was to evaluate the effect of salinity on physiological responses of 17 chickpea genotypes in seedling stage.

Material and Methods: To determine the most tolerant genotype to salinity stress, a split plot experiment was conducted based on randomized complete block design (RCBD) with three replications in Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 17 Kabuli chickpea genotypes as sub plot, two salinity levels (12 and 16 dS.m⁻¹ NaCl) and a control (0.5 dS.m⁻¹) as main plot were evaluated. Salinity stress was applied two weeks after sowing. Four weeks after salinity stress was imposed, traits including electrolyte leakage, photosynthetic pigments, total phenol, soluble carbohydrates, proline content, osmotic potential, survival percentage, sodium and potassium content of shoots and salinity tolerance index were measured.

Results: In all genotypes, with increasing salinity stress level, survival percentage decreased and electrolyte leakage percentage increased. In the 16dS.m⁻¹ NaCl treatment, MCC72, MCC108 and MCC112 genotypes had the highest survival percentage of 86.5, 82.6 and 100%, respectively. In salinity level of 16dS.m⁻¹, MCC108 genotype showed the lowest percentage of electrolyte leakage (82%) and MCC12, MCC58 and MCC27 genotypes showed the lowest increase in the percentage of electrolyte leakage compared to the control. The chickpea genotypes showed different responses by increased salinity in terms of photosynthetic pigment content. In MCC92, MCC108, MCC112 and MCC296 genotypes, content of chlorophyll a increased as salinity level increased to 16dS.m⁻¹. Soluble carbohydrates and proline content in all genotypes increased and osmotic potential became more negative as salinity levels increased from 0.5 (control) to 16 dS.m⁻¹.

Conclusion: In general, there was a wide variety among chickpea genotypes based on physiological traits. The analysis of clusters of genotypes was divided into five groups. Cluster analysis and mean comparison showed that the survival percentage in MCC108 and MCC112 genotypes were higher than total mean, so supplementary field studies on these two genotypes are recommended.

Keywords: Electrolyte leakage, Osmotic potential, Proline, Soluble carbohydrates, Survival