مقاله پژوهشی

بررسی اثر تنش شوری بر شاخص‌های بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های نخود کابلی (*Cicer arietinum* L.)

جعفر نباتی*[1]، رضوان رمضان‌نژاد[2] و احمد نظامی[3]

[1] گروه بقولات، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

[2] دکتری فیزیولوژی گیاهی، جهاد دانشگاهی مشهد، ایران

[3] گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۴/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۹/۲۹)

چکیده

شوری، از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که تأثیر نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی دارد. نخود مانند بیشتر حبوبات به تنش شوری حساس است. این مطالعه، به‌منظور به‌گزینی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری نخود کابلی صورت گرفت. برای این منظور، ۷۲ ژنوتیپ نخود از نظر میزان تحمل به شوری ۱۲dS m^{-1} غربالگری شدند. این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت آبکشت (هیدروپونیک) انجام شد. از میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ۵۳ ژنوتیپ دارای بقا بیش از ۷۵ درصد بودند، و هیچ ژنوتیپی بقای کمتر از ۲۵ درصد نداشت. بیشترین میانگین محتوای کربوهیدرات‌های محلول، فنل کل، پرولین، پتانسیل اسمزی، مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH و محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های دارای دامنه بقا ۷۶-۱۰۰ درصد مشاهده شد. میانگین محتوای مالون دی‌آلدئید در ژنوتیپ‌های دارای دامنه بقا ۲۶-۵۰ درصد بیشترین مقدار خود را داشت. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان‌دهنده برتری نسبی ژنوتیپ‌های گروه دوم شامل MCC1037، MCC1212، MCC1286، MCC1138، MCC1278، MCC1129، MCC1140، MCC1234، MCC1299، MCC1289، MCC1041، MCC1132، MCC1276، MCC1211، MCC1043، MCC1147 و MCC1148 در بیشتر صفات مورد مطالعه بود. به‌نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های نخود برای تحمل نسبت به شوری از مکانیسم‌های متعددی استفاده می‌کنند، که این امر در به‌گزینی ژنوتیپ‌های بیشتر متحمل به شوری در نخود کابلی کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: بقا، به‌گزینی، تحمل به شوری، آبکشت

مقدمه

شوری خاک، یک معضل زیست‌محیطی اساسی و رو به گسترش در جهان است (Ahammed *et al.*, 2018). غلظت بیش از حد نمک (بالاتر از حد آستانه، معادل ۳-۴dS m^{-1}) در خاک، آب و گیاه تحت عنوان شوری تعریف می‌شود (Hussain *et al.*, 2019). گیاهان در معرض تنش شوری، تغییرات نامطلوب فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و درنهایت کاهش عملکرد را نشان می‌دهند. اختلالات ایجاد شده به‌واسطه شوری در گیاهان عمدتاً شامل کاهش فتوسنتز، عدم تعادل یونی و آسیب اکسیداتیو به پروتئین‌ها (به‌ویژه آنزیم‌ها) است

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

(Muchate *et al*., 2016). اثرات منفی تنش شوری بر رشد و نمو گیاهان به سمیت یون سدیم نسبت داده می‌شود که می‌تواند در غلظت‌های بالا در سیتوزول هموستازی یون پتاسیم را مختل کند و بر بیشتر آنزیم‌ها تأثیر منفی داشته باشد (Reginato *et al*., 2021). افزایش جذب سدیم از خاک، با جذب و متابولیسم مواد مغذی معدنی ضروری مانند فسفر، پتاسیم، نیتروژن و کلسیم توسط گیاهان رقابت کرده و آن‌ها را کاهش می‌دهد (Gupta and Huang, 2014). 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 (Peng *et al*., 2017). از سوی دیگر، ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، توانایی بالاتری برای حفظ نسبت پتاسیم به سدیم دارند. برای تنظیم اسمزی، تجمع سدیم در واکوئل به‌منظور به حداقل رساندن غلظت آن در سیتوپلاسم سلول بسیار مهم است (Maathuis *et al*., 2014). برای این منظور، آنتی‌پورترهای V-ATPase (Apse *et al*., 1999)، Na^+/H^+ و V-PPase واکوئلی و دو پمپ H^+، در جایگذاری سدیم در واکوئل‌ها نقش دارند (Dietz *et al*., 2001). غلظت بالای کلرید سدیم عمدتاً باعث سمیت یونی، تنش اسمزی و اختلالات یون‌های معدنی مانند پتاسیم و کلسیم در گیاهان می‌شود (Munns and Tester, 2008). گیاهان مقاوم به شوری ممکن است دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از نظر سازگاری با شرایط تنش شوری باشند. در این گیاهان، بیان ژن‌های پاسخ به تنش در جذب و انتقال نمک، حفظ عملکرد اسمزی و تحریک رشد گیاه در معرض شوری افزایش می‌یابد (Munns and Tester, 2008). در زمینه حفظ هوموستازی اسمزی، اسمولیت‌های (مولکول‌های سازگار با عملکرد حفاظتی و حاوی نیتروژن) مختلفی مانند پرولین و گلیسین بتائین (Fatima *et al*., 2021)؛ قندهایی مانند ساکارز، ترهالوز و رافینوز (Gupta and Huang, 2014)، الکل‌های پلی‌هیدریک زنجیره مستقیم (پلیول‌ها) مانند مانیتول و سوربیتول (Conde *et al*., 2007) و الکل‌های پلی‌هیدریک حلقوی یا پلی‌ال‌های حلقوی (Kumari *et al*., 2015) نقش دارند. اثر کربوهیدرات‌ها در تنظیم بیان انواع ژن‌های دخیل در فتوسنتز، تنفس و تثبیت غشای سلول مشخص شده است (Wang *et al*., 2015).

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از گیاهان مهم در خانواده حبوبات است که به دلیل فواید تغذیه‌ای بالا و خواص بهبود نیتروژن خاک شناخته شده است (Boschin *et al*., 2014; Araujo *et al*., 2015) و جز کلیدی رژیم غذایی جنوب آسیا و مدیترانه است. نخود به‌خصوص به تنش شوری حساس است و بهره‌وری آن بسته به سطح شوری می‌تواند از صفر تا ۱۰۰ درصد کاهش یابد (Turner *et al*., 2013). حتی پس از پژوهش‌های زیادی که برای بهبود تحمل به نمک در نخود انجام شده است، تا به امروز، تنها چند رقم مقاوم به نمک برای کشت تجاری در سراسر جهان آزاد شده است (Maliro *et al*., 2004). یکی از دلایل عمده ذکرشده، دشوار بودن تولید لاین‌های جدید با تحمل بالا به نمک از لحاظ ژنتیکی است (Berger *et al*., 2019). تنش شوری روی جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاهچه، رشد، تثبیت نیتروژن، گلدهی، رشد غلاف و پر شدن بذر نخود تأثیر می‌گذارد (Bulseco *et al*., 2019). نتایج یک مطالعه نشان داد که تنش شوری گلدهی را در ژنوتیپ‌های حساس نخود نسبت به مقاوم آن به تأخیر انداخت. تصور می‌شود، این تأخیر به‌دلیل افزایش غلظت سدیم در برگ‌های جوان‌تر و تجمع پتاسیم در برگ‌های سبز مسن، در ژنوتیپ‌های حساس نسبت به ژنوتیپ‌های متحمل نخود باشد (Pushpavalli *et al*., 2016). تحمل به شوری یک صفت پیچیده است که شامل بسیاری از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی با القای ژن‌های متعدد در مواجهه با تنش شوری است (Wu *et al*., 2013). از این رو، آزمایش‌ها باید شامل غربالگری ژرم پلاسم، تعیین خصوصیات ژن‌ها، کشف جایگاه‌های کمی جدید صفت (QTL) و در نهایت، ژن‌های منتخب با استفاده از ژنتیک مدرن باشد (Awlia *et al*., 2017).

مطالعه حاضر، به‌منظور غربالگری ۷۲ ژنوتیپ نخود تیپ کابلی نسبت به تنش شوری با بررسی برخی از مهم‌ترین شاخص‌های بیوشیمیایی آن صورت گرفت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به‌گزینی ۷۲ ژنوتیپ نخود تیپ کابلی در سطح تنش شوری ۱۲dS m^{-1} کلرید سدیم (NaCl)، در شرایط کشت هیدروپونیک، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. بذر ژنوتیپ‌های نخود مورد بررسی از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد.

به‌منظور جوانه‌زنی بهتر بذور، قبل از انتقال آن‌ها به محیط هیدروپونیک، به مدت ۷۲ ساعت در ژرمیناتور جوانه‌دار شدند. بذور جوانه‌زده به گلخانه با متوسط دمای ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۰±۶۰ درصد انتقال یافت و در جعبه‌های پلاستیکی به ابعاد ۵۰×۷۲ سانتی‌متر با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر حاوی ماسه کشت شدند. در هر جعبه چهار ژنوتیپ و از هر ژنوتیپ ۱۰ بذر کشت شد.

به‌مدت یک هفته پس از انتقال، بذور با آب بدون شوری آبیاری شدند و سپس تنش شوری (کلرید سدیم) معادل ۱۲dS m^{-1} همراه با محلول غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) اعمال شد. سامانه تغذیه به‌صورت بسته اعمال شد. محلول غذایی به‌صورت هفتگی جایگزین شده و میزان شوری محلول غذایی به‌صورت روزانه پایش و تنظیم شد. در مجموع، با احتساب ۲dS m^{-1} هدایت الکتریکی محلول غذایی هوگلند، هدایت الکتریکی آب آبیاری معادل ۱۴dS m^{-1} بود. چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری (Kafi *et al.*, 2020)، برخی از مهم‌ترین شاخص‌های بیوشیمیایی شامل محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (Dere *et al.*, 1998)، فنل کل (Singleton and Rossi, 1965)، کربوهیدرات‌های محلول (Dubois *et al.*, 1951)، پرولین (Bates *et al.*, 1973)، مهار رادیکال آزاد DPPH (Abe *et al.*, 1998)، مالون دی‌آلدئید (Heath and Parker, 1968)، محتوای نسبی آب برگ (Smart and Bingham, 1974) و پتانسیل اسمزی با استفاده از دستگاه اسمومتر مدل OM802.D Wogel از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه درصد بقا، تعداد بوته‌های سبزشده قبل از اعمال تنش شوری و تعداد بوته‌های زنده چهار هفته پس از اعمال تنش شمارش و با استفاده از معادله ۱ درصد بقا محاسبه شد.

معادله (۱)

درصد بقا= (تعداد بوته قبل از تنش / تعداد بوته چهار هفته بعد از تنش) × ۱۰۰

سپس، ژنوتیپ‌های مختلف براساس درصد بقا در چهار دامنه ۰–۲۵، ۲۶–۵۰، ۵۱–۷۵ و ۷۶–۱۰۰ گروه‌بندی شدند.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.26 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲dS m^{-1}، از نظر درصد بقا بین ژنوتیپ‌های نخود کابلی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جداول ۱، ۲ و ۳). مقایسه دامنه‌های مختلف درصد بقا نشان داد که از میان ۷۲ ژنوتیپ مورد بررسی، بیشترین تعداد ژنوتیپ (۵۳ ژنوتیپ) در دامنه بقا بیشتر از ۷۵ درصد قرار داشتند (شکل a ۱)، که در میان، ۲۹ ژنوتیپ دارای دامنه بقا ۱۰۰ درصد بودند (جدول ۱). به همین ترتیب، بیشترین درصد فراوانی ژنوتیپ‌ها (۷۴ درصد) نیز مربوط به این دامنه بقا بود (شکل b ۱). دامنه بقاء ۵۱ – ۷۵ درصد و ۲۶– ۵۰ درصد نیز به‌ترتیب دارای ۱۳ و شش ژنوتیپ (۱۸ و ۸ درصد فراوانی) بودند. این در حالی است که هیچ یک از ژنوتیپ‌های مورد بررسی، دارای دامنه بقاء کمتر از ۲۵ درصد نبودند (شکل ۱– a و b). بر اساس نتایج حاصل، به‌نظر می‌رسد که در تنش شوری ۱۲dSm^{-1}، ژنوتیپ‌های نخود کابلی از نظر تحمل به شوری تفاوت‌های قابل‌توجهی داشتند. از طرفی دیگر، هیچ یک از ژنوتیپ‌ها از نظر میزان حساسیت به این سطح از تنش شوری، در حدی نبودند که در محدوده بقاء کمتر از ۲۵ درصد قرار گیرند. باید توجه داشت که میزان تحمل به شوری که این ژنوتیپ‌ها در شرایط هیدروپونیک از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۱- اثر تنش شوری ۱۲dSm^{-1} کلرید سدیم بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۷۶ تا ۱۰۰ درصد

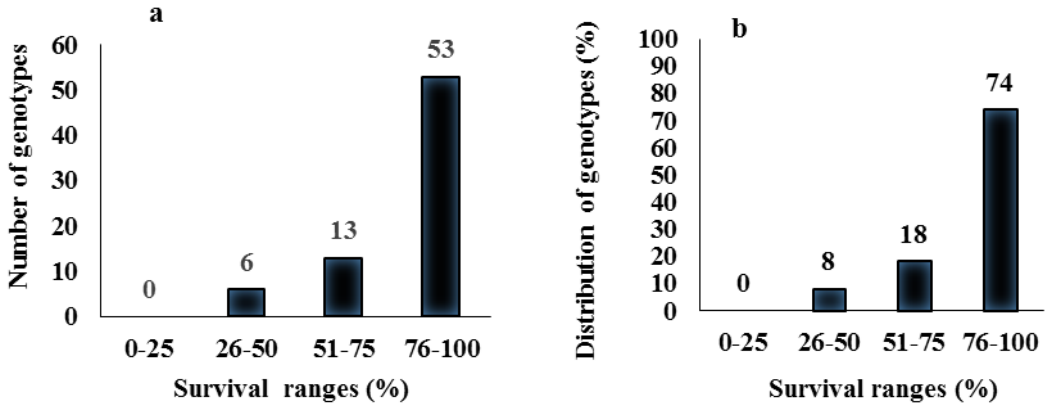
MCC	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۲۳۶	۱۰۰	۰/۸۱۹	۰/۳۹۲	۲/۱۷	۰/۲۰۰	۱/۴۱	۲۱۴	۰/۴۱۰	۱۵/۲۰	-۲/۴۱	۳/۵۷	۰/۵۴۱	۷۰/۹۳
۱۲۹۹	۱۰۰	۰/۸۴۹	۰/۴۰۲	۲/۱۱	۰/۲۱۱	۱/۴۶	۲۰۵	۰/۳۷۰	۱۸/۵۰	-۳/۲۲	۷/۶۷	۰/۷۷	۵۸/۵۰
۱۲۹۸	۱۰۰	۰/۷۱۳	۰/۳۶۲	۱/۹۴	۰/۱۲۸	۱/۲۰	۱۷۶	۰/۷۱۱	۱۳/۱۷	-۲/۲۵	۲/۷۷	۰/۴۷۲	۵۷/۹۳
۱۲۹۷	۱۰۰	۰/۷۳۳	۰/۳۳۳	۲/۳۱	۰/۱۸۵	۱/۲۹	۹۵/۷۳	۰/۳۹۱	۴۲/۹۹	-۲/۳۷	۴/۳۸	۰/۵۱۲	۶۹/۵۰
۱۲۹۶	۱۰۰	۱/۱۲	۰/۴۴۱	۲/۵۵	۰/۲۴۰	۱/۸	۲۲۴	۰/۸۴۲	۹/۳۰	-۲/۱۵	۵/۵۳	۱/۰۰	۷۱/۶۷
۱۲۹۱	۱۰۰	۰/۸۴۶	۰/۳۴۰	۲/۴۹	۰/۱۹۶	۱/۳۸	۲۷۹	۰/۴۱۰	۷/۷۳	-۲/۸۱	۳/۴۸	۱/۵۵	۶۲/۰۰
۱۲۸۰	۱۰۰	۰/۶۸۵	۰/۳۱۷	۲/۱۹	۰/۱۴۳	۱/۱۴	۸۷/۵۱	۰/۴۹۲	۳۳/۰۰	-۲/۳۹	۲/۶۰	۱/۳۴	۵۵/۰۷
۱۲۵۴	۱۰۰	۰/۵۷۹	۰/۴۱۲	۱/۵۲	۰/۰۹۲	۱/۸۴	۶۲/۷۷	۰/۵۹۲	۲۰/۴۳	-۲/۸۵	۷/۵۹	۱/۷۵	۶۱/۴۷
۱۳۰۰	۱۰۰	۰/۴۳۹	۰/۱۷۵	۵/۴۳	۰/۱۲۱	۰/۷۳۲	۱۸۷	۰/۵۰۱	۱۲/۴۳	-۲/۳۵	۴/۵۳	۰/۳۶۵	۶۶/۹۷
۱۲۱۴	۱۰۰	۰/۴۹۰	۰/۳۹۲	۱/۳۸	۰/۱۰۰	۰/۹۸۱	۲۰۶	۰/۳۹۲	۱۴/۳۷	-۲/۵۵	۳/۳۱	۰/۴۸۱	۷۱/۸۷
۱۱۴۸	۱۰۰	۰/۹۴۶	۰/۳۸۱	۲/۴۸	۰/۲۲۴	۱/۵۵	۱۳۳	۰/۶۷۲	۱۰/۴۷	-۲/۳۷	۸/۵۸	۰/۴۰۴	۶۸/۵۰
۱۱۴۱	۱۰۰	۰/۹۲۲	۰/۳۸۲	۲/۴۶	۰/۲۲۶	۱/۵۳	۲۹۹	۰/۴۳۲	۱۵/۲۳	-۲/۷۴	۴/۴۳	۰/۸۳	۶۵/۹۰
۱۱۳۹	۱۰۰	۰/۷۹۹	۰/۳۴۶	۲/۳۱	۰/۱۷۵	۱/۲۹	۴۸/۵۰	۰/۷۷۴	۳۷/۱۰	-۲/۸۳	۲/۷۸	۰/۴۸	۶۶/۴۳
۱۱۳۵	۱۰۰	۰/۶۷۵	۰/۳۶۰	۱/۹۰	۰/۱۵۳	۱/۱۹	۱۶۴	۰/۵۳	۳۶/۹۰	-۲/۷۵	۳/۷۰	۰/۶۱۵	۶۷/۴۷
۱۱۳۴	۱۰۰	۰/۹۱۶	۰/۴۳۱	۲/۱۶	۰/۱۶۲	۱/۵۱	۵۵/۷۸	۰/۳۱۰	۱۸/۸۷	-۲/۵۱	۴/۶۷	۰/۵۸۱	۵۶/۰۰
۱۱۳۱	۱۰۰	۱/۰۴	۰/۳۹۲	۲/۶۸	۰/۲۲۵	۱/۶۶	۱۴۶	۰/۵۳۲	۲۱/۴۰	-۲/۳۰	۵/۹۳	۰/۶۰۲	۷۰/۶۰
۱۱۲۸	۱۰۰	۰/۶۸۸	۰/۳۱۰	۲/۱۹	۰/۱۳۸	۱/۱۳	۶۴/۶۰	۰/۸۷۵	۳۹/۹۷	-۲/۳۸	۴/۶۲	۰/۵۷۱	۶۱/۰۳
۱۱۲۷	۱۰۰	۰/۶۲۴	۰/۳۲۵	۱/۹۷	۰/۱۵۱	۱/۱۰	۱۴۱	۰/۱۰۰	۵۴/۸۷	-۴/۱۷	۴/۹۱	۰/۱۲۲	۶۶/۹۷
۱۱۲۲	۱۰۰	۰/۵۱۲	۰/۳۰۰	۱/۷۴	۰/۰۹۳	۰/۹۰	۱۰۰	۰/۳۲۱	۱۹/۱۷	-۳/۰۹	۵/۴۱	۰/۵۰۲	۸۲/۰۰
۱۱۰۰	۱۰۰	۰/۹۱۹	۰/۳۵۱	۲/۶۱	۰/۲۱۰	۱/۴۸	۱۴۹	۰/۴۰۲	۱۴/۵۳	-۲/۰۹	۶/۴۰	۰/۵۱۴	۵۳/۹۷
۱۰۳۷	۱۰۰	۰/۷۱۲	۰/۳۲۴	۲/۲۳	۰/۱۴۳	۱/۱۷	۱۳۳	۰/۶۰۳	۹/۰۰	-۲/۲۶	۲/۶۹	۰/۵۵۶	۷۳/۴۷
۱۰۶۱	۱۰۰	۰/۸۳۱	۰/۲۷۵	۴/۴۵	۰/۲۰۰	۱/۳۱	۱۱۷	۰/۴۰۲	۴۲/۴۳	-۲/۰۷	۳/۰۲	۰/۶۱۲	۶۵/۵۷
۱۰۵۹	۱۰۰	۰/۹۷۰	۰/۳۷۴	۲/۶۲	۰/۲۱۰	۱/۵۵	۳۴/۴۷	۰/۸۳۲	۱۲/۱۳	-۲/۵۳	۲/۶۰	۰/۶۳۲	۶۳/۹۰
۱۰۵۸	۱۰۰	۰/۸۵۱	۰/۳۳۳	۲/۵۱	۰/۱۷۴	۱/۳۶	۴۸/۳۸	۰/۶۸	۲۴/۶۰	-۲/۹۲	۳/۳۲	۰/۸۴۲	۶۳/۶۳
۱۰۵۷	۱۰۰	۰/۸۰۷	۰/۳۸۷	۲/۱۰	۰/۱۷۱	۱/۳۵	۹۰/۸۳	۰/۷۰۴	۱۸/۵۳	-۲/۲۳	۶/۳۳	۰/۶۷۴	۶۲/۵۳
۱۰۴۱	۱۰۰	۰/۹۷۱	۰/۴۳۱	۲/۲۶	۰/۲۷۱	۱/۶۷	۱۹۳	۰/۴۰۲	۱۶/۴۳	-۳/۶۷	۴/۲۹	۰/۴۳۲	۶۶/۵۰
۱۰۳۹	۱۰۰	۰/۷۵۱	۰/۳۴۲	۲/۲۳	۰/۱۷۳	۱/۲۶	۱۲۹	۰/۲۵۴	۴۲/۲۷	-۲/۸۳	۵/۳۷	۰/۵۵۱	۶۸/۶۷
۱۰۳۸	۱۰۰	۰/۹۷۴	۰/۴۰۵	۲/۴۴	۰/۲۳۳	۱/۶۱	۲۵۱	۰/۵۹۱	۸/۰۰	-۲/۵۸	۵/۶۱	۰/۴۶۰	۴۱/۵۰
۱۰۳۰	۱۰۰	۱/۰۷	۰/۴۱۲	۲/۶۰	۰/۲۴۱	۱/۷۳	۱۷۰	۰/۷۳۲	۱۳/۵۰	-۲/۵۰	۶/۵۷	۰/۳۲۳	۶۶/۴۳
۱۲۸۴	۹۰	۰/۷۰۲	۰/۳۲۱	۲/۲۰	۰/۱۵۳	۱/۱۷	۱۴۱/	۰/۵۵	۳۰/۹۷	-۲/۶۷	۵/۷۴	۰/۵۸۰	۶۹/۳۳
۱۲۵۰	۹۰	۰/۹۶۶	۰/۳۷۱	۲/۶۲	۰/۲۱۰	۱/۵۵	۴۸/۳۷	۰/۴۱۲	۱۵/۹۷	-۲/۴۲	۴/۲۹	۰/۵۲۱	۷۲/۴۳
۱۲۰۹	۹۰	۰/۸۵۲	۰/۳۶۱	۲/۳۶	۰/۱۹۵	۱/۴۰	۹۹/۴۳	۰/۶۰۲	۱۸/۴۰	-۳/۰۴	۴/۸۷	۰/۴۵۲	۶۹/۴۷
۱۱۴۵	۹۰	۰/۶۸۷	۰/۲۶۴	۲/۵۷	۰/۱۶۱	۱/۱۱	۵۹/۰۸	۰/۳۹۰	۳۲/۹۰	-۳/۱۲	۳/۲۹	۰/۷۷۷	۷۲/۶۷
۱۱۴۴	۹۰	۰/۵۹۴	۰/۲۸۱	۲/۰۵	۰/۱۴۲	۱/۰۲	۵۲/۸۰	۰/۵۸۱	۳۷/۰۳	-۳/۰۹	۷/۱۳	۰/۵۷۳	۶۹/۰۳
۱۱۴۳	۹۰	۰/۵۵۳	۰/۳۲۰	۱/۷۶	۰/۱۱۵	۰/۹۸۲	۷۷/۷۷	۰/۶۳۲	۴۲/۹۰	-۲/۵۷	۶/۶۵	۰/۶۲۰	۶۷/۶۷
۱۱۱۳	۹۰	۰/۵۸۲	۰/۲۷۱	۲/۱۲	۰/۱۶۳	۱/۰۱	۲۲۳	۰/۳۲۱	۳۰/۵۳	-۳/۲۲	۶/۳۱	۰/۳۷۱	۶۵/۹۳
۱۰۷۵	۹۰	۰/۶۷۲	۰/۳۳	۲/۰۷	۰/۱۵۱	۱/۱۵	۱۱۸	۰/۴۰۲	۴۳/۰۷	-۲/۴۲	۷/۹۶	۰/۷۸۲	۶۴/۳۳
۱۰۷۲	۹۰	۰/۷۶۲	۰/۳۰۲	۲/۵۸	۰/۱۷۴	۱/۲۲	۱۵۱	۰/۶۰۱	۳۹/۶۰	-۳/۳۴	۴/۳۹	۰/۴۹۲	۹۵/۱۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

۱۰۴۳	۹۰	۰/۸۴۱	۰/۳۵۲	۲/۴۰	۰/۱۶۲	۱/۳۵	۴۴/۲۹	۰/۴۱۲	۱۳/۹۰	−۳/۳۰	۶/۱۲	۰/۷۲۱	۶۹/۶۳
۱۰۴۰	۹۰	۰/۵۹۹	۰/۲۸۱	۲/۱۴	۰/۱۴۵	۱/۰۲	۱۰۰	۰/۳۸۱	۲۶/۸۳	−۳/۱۲	۷/۱۶	۰/۹۹۰	۶۹/۰۰
۱۰۷۷	۸۳	۰/۶۰۹	۰/۲۸۴	۲/۱۶	۰/۱۴۲	۱/۰۳	۱۲۲	۰/۴۸۱	۴۰/۲۰	−۲/۲۲	۲/۸۸	۰/۸۱۲	۶۰/۱۰
۱۲۹۴	۸۰	۰/۵۱۰	۰/۲۹۱	۱/۶۹	۰/۱۰۲	۰/۹۰۱	۲۳۲	۰/۲۹۴	۱۹/۳۰	−۲/۹۳	۷/۵۳	۰/۳۷۱	۳۷/۵۰
۱۲۸۶	۸۰	۰/۸۳۶	۰/۴۹۳	۱/۷۰	۰/۱۵۲	۱/۴۷	۲۹۶	۱/۲۸	۴۹/۸۷	−۲/۹۹	۷/۳۲	۰/۰۷۱	۶۳/۳
۱۲۷۸	۸۰	۰/۸۷۴	۰/۴۲۶	۲/۰۹	۰/۱۹۳	۱/۴۹	۲۹۶	۰/۲۷۰	۱۳/۷۰	−۳/۷۴	۶/۴۲	۰/۵۳۲	۶۵/۹۷
۱۲۴۹	۸۰	۰/۵۰	۰/۲۵۰	۲/۵۵	۰/۱۵۴	۰/۹۹۲	۱۷۹	۰/۵۱۲	۱۹/۴۰	−۳/۲۱	۵/۰۳	۰/۳۱۷	۶۱/۹۳
۱۲۴۶	۸۰	۰/۶۱۶	۰/۲۹۴	۲/۰۸	۰/۱۳۲	۱/۰۵	۱۴۷	۰/۲۶۱	۲۳/۰۰	−۲/۷۲	۴/۷۳	۰/۶۵۱	۶۵/۰۰
۱۲۱۱	۸۰	۰/۱۳۱	۰/۴۴۲	۲/۵۵	۰/۲۶۳	۱/۸۳	۲۵۲	۰/۱۸۲	۲۱/۴۰	−۲/۲۴	۷/۰۳	۰/۴۴۲	۶۹/۰۰
۱۱۴۷	۸۰	۰/۷۹۲	۰/۳۴۲	۲/۳۲	۰/۱۹۲	۱/۳۲	۹۵/۸۹	۰/۶۰۳	۲۴/۹۳	−۳/۴۵	۳/۷۲	۰/۹۶۲	۵۸/۹۳
۱۱۳۶	۸۰	۱/۱۷	۰/۴۴۴	۲/۶۶	۰/۲۵۴	۱/۸۷	۱۲۸/۲۹	۰/۴۲۱	۱۳/۱۳	−۲/۲۳	۳/۸۲	۰/۷۴۱	۶۴/۵۷
۱۱۳۰	۸۰	۰/۳۷۱	۰/۲۸۱	۱/۲	۰/۰۵۴	۰/۷۰۵	۱۴۶	۰/۳۱۰	۴۱/۳۰	−۲/۷۴	۲/۹۸	۰/۷۰۰	۶۹/۴۳
۱۰۳۶	۸۰	۰/۸۴۵	۰/۳۹۰	۲/۱۶	۰/۱۹۴	۱/۴۲	۲۱۳	۰/۳۰۵	۱۶/۶۰	−۲/۳۲	۴/۵۹	۰/۵۱۰	۶۴/۵۷
۱۲۷۷	۷۸	۰/۷۸۰	۰/۳۵۰	۲/۱۶	۰/۱۶۱	۱/۲۹	۲۴۰	۰/۵۸۷	۱۷/۴۰	−۳/۴۸	۲/۸۷	۰/۳۱۲	۶۷/۴۷
۱۲۷۶	۷۸	۱/۱۰	۰/۴۱۵	۲/۶۴	۰/۲۴	۱/۷۶	۲۱۷	۰/۵۰	۹/۷۰	−۳/۰۱	۵/۲۳	۰/۵۷۵	۵۲/۸۷
$LSD_{0.05}$	۱۶	۰/۳۴۵	۰/۶۴۴	۲۰/۸۲	۶/۸۱	۰/۵۰۸	۶۰/۴۰	۰/۱۲۲	۱۶/۷۳	−۱/۲	۶/۱۴	۰/۲۰۵	۱۰/۱۹
میانگین مربعات													
ژنوتیپ	۲۱۶**	۲/۳۸**	۱/۹۱**	۱/۱۶ns	۲/۵۴**	۲/۳۵**	۱۰/۳۴**	۵/۶۳**	۶/۰۳**	۰/۸۳۷**	۷/۷۵**	۹/۵۵**	۳/۴۷**
خطا	۴۶/۸	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵	۰/۸۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۹۷	۱۲۲۳	۰/۰۲۵	۹۰/۰۲	۰/۳۸۹	۱/۴۰	۰/۰۱۳	۳۹/۵۸
CV	۳/۱۶	۲۶/۹۷	۲۰/۱۰	۴۱/۸۶	۳۲/۶۷	۲۴/۰۰	۲۲/۹۴	۲۹/۴۰	۳۹/۳۲	۳۵/۹۸	۲۲/۶۳	۱۸/۲۸	۹/۶۳

MCC: کلکسیون نخود مشهد، ۱: بقا (٪)، ۲: کلروفیل **a** (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۳: کلروفیل **b** (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۴: نسبت کلروفیل **a/b**، ۵: کاروتنوئیدها (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۶: رنگ‌دانه کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۷: فنل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۸: کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۹: مالون دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)، ۱۰: پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)، ۱۱: پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۱۲: مهار فعالیت رادیکال آزاد **DPPH** (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۱۳: محتوای نسبی آب برگ، **$LDS_{0.05}$**: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، **ns**: عدم معنی‌دار، **CV**: ضریب تغییرات (٪).



شکل ۱- تعداد (a) و درصد فراوانی نسبی (b) ژنوتیپ‌های نخود در دامنه‌های مختلف بقاء، چهار هفته پس از اعمال تنش شوری $12dSm^{-1}$ کلرید سدیم.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۲- اثر تنش شوری $12dSm^{-1}$ کلرید سدیم بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۵۱ تا ۷۵ درصد

MCC	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۲۹۵	۷۰	۰/۹۴۱	۰/۳۵۱	۲/۶۷	۰/۲۲۲	۱/۵۱	۱۹۱	۰/۲۸۲	۲۳/۶۰	−۱/۹۳	۳/۶۹	۰/۶۰۵	۶۶/۰۳
۱۲۸۹	۷۰	۰/۹۲۳	۰/۳۶۰	۲/۵۶	۰/۲۰۲	۱/۴۸	۱۷۸	۰/۴۹۰	۶/۲۷	−۲/۴۴	۷/۲۹	۱/۱۳	۷۲/۹۳
۱۲۳۶	۷۰	۰/۹۵۰	۰/۳۷۵	۲/۴۹	۰/۲۱۰	۱/۵۳	۱۹۰	۰/۶۸۳	۴۰/۷۰	−۲/۲۶	۲/۴۸	۰/۹۴۲	۷۱/۴۳
۱۱۳۸	۷۰	۰/۹۴۱	۰/۳۶۱	۲/۷۳	۰/۲۳۳	۱/۵۳	۱۷۶	۰/۷۱۴	۳۳/۸۳	−۳/۹۵	۸/۸	۰/۶۳۵	۶۴/۶۳
۱۰۸۷	۷۰	۰/۴۷۲	۰/۳۰۰	۱/۵۸	۰/۰۸۲	۰/۸۴	۱۳۲	۰/۶۰۵	۱۰/۹۰	−۳/۵۴	۳/۱۷	۰/۴۸۱	۶۲/۴۷
۱۰۴۲	۷۰	۰/۴۵۷	۰/۲۹۲	۱/۵۸	۰/۰۷۴	۰/۸۱	۱۴۸	۰/۳۹۱	۲۳/۱۰	−۳/۴۴	۳/۵۱	۰/۷۸۵	۶۵/۰۷
۱۰۳۷	۷۰	۰/۹۴۱	۰/۴۸۱	۱/۹۱	۰/۱۸۱	۱/۶۰	۱۵۴	۰/۵۳۲	۱۸/۸۰	−۳/۷۴	۹/۴۹	۰/۵۸۲	۷۲/۴۰
۱۰۳۵	۷۰	۰/۷۶۵	۰/۳۵۲	۲/۱۵	۰/۱۶۲	۱/۲۷	۱۷۷	۰/۷۳۱	۸/۰۷	−۳/۲۹	۱۱/۸۲	۰/۴۴۴	۶۴/۰۰
۱۰۹۰	۶۷	۰/۵۱۶	۰/۲۹۸	۱/۷۲	۰/۱۰۰	۰/۹۰۵	۱۹۰	۰/۷۸۴	۱۲/۶۳	−۳/۱۰	۵/۹۱	۰/۵۴۰	۶۷/۵۷
۱۳۰۲	۶۰	۰/۷۵۲	۰/۳۶۰	۲/۰۵	۰/۱۵۲	۱/۲۶	۲۵۷	۰/۷۳۲	۲۳/۲۷	−۱/۶۹	۵/۴۲	۰/۳۲۱	۶۲/۴۰
۱۲۱۳	۶۰	۰/۶۲۱	۰/۳۷۹	۱/۶۴	۰/۱۲۴	۱/۱۱	۷۱/۴۰	۰/۶۰۰	۴۸/۷۳	−۳/۱۱	۳/۸۲	۰/۷۶۵	۶۴/۴۰
۱۱۴۰	۶۰	۰/۸۸۷	۰/۳۶۳	۲/۴۱	۰/۱۸۲	۱/۴۲	۱۶۲	۰/۹۸۳	۹/۸۷	−۳/۳۶	۶/۳۳	۰/۵۹۱	۶۸/۴۳
۱۱۳۲	۶۰	۰/۹۶۰	۰/۳۶۱	۲/۶۰	۰/۲۱۳	۱/۵۳	۲۱۲	۱/۱۲	۳۷/۰۰	−۲/۵۵	۶/۳۳	۰/۷۹۲	۶۱/۸۷
$LSD_{0.05}$	۱۶	۰/۳۴۵	۰/۶۴۴	۲۰/۸۲	۶/۸۱	۰/۵۰۸	۶۰/۴۰	۰/۱۲۲	۱۶/۷۳	−۱/۲	۶/۱۴	۰/۲۰۵	۱۰/۱۹
میانگین مربعات													
ژنوتیپ	۲۱۶**	۲/۳۸**	۱/۹۱**	۱/۱۶ns	۲/۵۴**	۲/۳۵**	۱۰/۳۴**	۵/۶۳**	۶/۰۳**	۰/۸۳۷**	۷/۷۵**	۹/۵۵**	۳/۴۷**
خطا	۴۶/۸	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵	۰/۸۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۹۷	۱۲۲۳	۰/۰۲۵	۹۰/۰۲	۰/۳۸۹	۱/۴۰	۰/۰۱۳	۳۹/۵۸
CV	۳/۱۶	۲۶/۹۷	۲۰/۱۰	۴۱/۸۶	۳۲/۶۷	۲۴/۰۰	۲۲/۹۴	۲۹/۴۰	۳۹/۳۲	۳۵/۹۸	۲۲/۶۳	۱۸/۲۸	۹/۶۳

MCC: کلکسیون نخود مشهد، ۱: بقا (٪)، ۲: کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۳: کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۴: نسبت کلروفیل a/b، ۵: کاروتنوئیدها (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۶: رنگ‌دانه کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۷: فنل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۸: کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۹: مالون دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)، ۱۰: پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)، ۱۱: پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۱۲: مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۱۳: محتوای نسبی آب برگ، $LDS_{0.05}$: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: عدم معنی‌دار، CV: ضریب تغییرات (٪).

خود نشان می‌دهند، لزوماً مشابه با آن چیزی نیست که در شرایط مزرعه رخ می‌دهد. چرا که در شرایط هیدروپونیک، امکان دسترسی به عناصر غذایی بیشتر است، و این می‌تواند توان تحمل گیاه نسبت به این سطح از تنش شوری را افزایش دهد (Nasiri *et al.*, 2021). اگر چه، گیاه نخود حساس به تنش شوری است، اما، می‌توان امید داشت که تنوع ژنوتیپی بالای آن از نظر میزان تحمل تنش، بتواند در به‌گزینی ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر مفید باشد.

اثر ژنوتیپ بر محتوای کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و رنگ‌دانه کل معنی‌دار بود (جدول ۱، ۲ و ۳). ژنوتیپ‌های در معرض تنش شوری $12dSm^{-1}$ در دامنه‌های بقا ۲۶-۵۰، ۵۱-۷۵ و ۷۶-۱۰۰ درصد، تفاوت چشمگیری از نظر محتوای کلروفیل a با یکدیگر نداشتند. اما، یک افزایش بسیار جزئی در میزان این شاخص همراه با افزایش درصد بقاء مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیل a (۱/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به ژنوتیپ MCC1136 در دامنه بقاء ۸۰ درصد بود. مانند کلروفیل a، در مورد محتوای کلروفیل b نیز تفاوت محسوسی بین سه دامنه بقاء مورد بررسی مشاهده نشد. اما، همین تفاوت اندک به‌صورت کاهش میزان این رنگ‌دانه با افزایش درصد بقاء بود. بیشترین میزان این رنگ‌دانه (۰/۴۹۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۳- اثر تنش شوری $12dSm^{-1}$ کلرید سدیم بر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در دامنه بقای ۵۰ تا ۲۶ درصد

MCC	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱۱۱۵	۵۰	۰/۷۲۷	۰/۳۴۱	۲/۰۷	۰/۱۵۲	۱/۲۱	۱۳۲	۰/۵۹۱	۱۱/۱۳	−۲/۸۶	۳/۱۸	۰/۵۸۴	۷۴/۴۷
۱۲۳۵	۵۰	۰/۶۶۶	۰/۳۵۰	۱/۸۹	۰/۱۳۰	۱/۱۵	۳۹/۰۸	۰/۵۳۲	۲۸/۵۰	−۳/۸۵	۷/۷۶	۰/۵۸۱	۷۴/۳۳
۱۲۳۴	۵۰	۰/۹۰۳	۰/۴۲۲	۲/۱۷	۰/۱۹۲	۱/۵۱	۱۹۵	۰/۸۲۱	۱۶/۱۳	−۲/۶۰	۵/۷۳	۰۰/۸۱	۶۷/۵۳
۱۰۳۶	۴۴	۰/۴۵۷	۰/۲۸۰	۱/۶۱	۰/۰۸۰	۰/۸۱	۱۶۱	۰/۹۳۲	۱۵/۸۳	−۳/۲۶	۴/۹۳	۰/۵۰۱	۶۲/۹۳
۱۲۱۲	۴۰	۰/۹۶۰	۰/۴۷۰	۲/۰۵	۰/۱۷۰	۱/۶۰	۱۸۹	۰/۲۸۰	۶۱/۸۳	−۳/۴۱	۶/۲۰	۱/۰۴	۷۰/۰۳
۱۱۲۹	۳۸	۰/۸۴۳	۰/۴۰۸	۲/۱۱	۰/۱۹۱	۱/۴۳	۲۱۲	۰/۴۸۱	۲۲/۷۰	−۲/۴۸	۵/۶۸	۰۸/۹۰	۵۸/۱۳
$LSD_{0.05}$	۱۶	۰/۳۴۵	۰/۶۴۴	۲۰/۸۲	۶/۸۱	۰/۵۰۸	۶۰/۴۰	۰/۱۲۲	۱۶/۷۳	−۱/۲	۶/۱۴	۰/۲۰۵	۱۰/۱۹
میانگین مربعات													
ژنوتیپ	۲۱۶**	۲/۳۸**	۱/۹۱**	۱/۱۶ns	۲/۵۴**	۲/۳۵**	۱۰/۳۴**	۵/۶۳**	۶/۰۳**	۰/۸۳۷**	۷/۷۵**	۹/۵۵**	۳/۴۷**
خطا	۴۶/۸	۰/۰۴۴	۰/۰۰۵	۰/۸۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۹۷	۱۲۲۳	۰/۰۲۵	۹۰/۰۲	۰/۳۸۹	۱/۴۰	۰/۰۱۳	۳۹/۵۸
CV	۳/۱۶	۲۶/۹۷	۲۰/۱۰	۴۱/۸۶	۳۲/۶۷	۲۴/۰۰	۲۲/۹۴	۲۹/۴۰	۳۹/۳۲	۳۵/۹۸	۲۲/۶۳	۱۸/۲۸	۹/۶۳

MCC: کلکسیون نخود مشهد، ۱: بقا (٪)، ۲: کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۳: کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۴: نسبت کلروفیل a/b، ۵: کاروتنوئیدها (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۶: رنگ‌دانه کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۷: فنل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۸: کربوهیدرات‌های محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۹: مالون دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)، ۱۰: پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)، ۱۱: پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۱۲: مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، ۱۳: محتوای نسبی آب برگ، $LDS_{0.05}$: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns: عدم معنی‌دار، CV: ضریب تغییرات (٪).

میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ MCC1286 با ۸۰ درصد بقاء مشاهده شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که با افزایش درصد بقاء ژنوتیپ‌ها، نسبت کلروفیل a/b افزایش یافت. به‌طوری‌که، بیشترین نسبت در دامنه بقاء بیش از ۷۵ درصد و کمترین میزان آن در دامنه بقاء ۲۶-۵۰ درصد مشاهده شد. مشابه با کلروفیل a و b، محتوای کاروتنوئیدها نیز در بین درصدهای بقاء مختلف، تفاوت چندانی نشان نداد. اما، در کل یک افزایش جزئی همراه با افزایش درصد بقاء مشاهده شد. تفاوت محسوسی ازنظر محتوای رنگ‌دانه کل نیز بین سه دامنه بقاء مشاهده نشد. به‌طورکلی، میزان کلروفیل a و b، نسبت کلروفیل a/b، محتوای کاروتنوئیدها و رنگ‌دانه کل همبستگی معنی‌داری با درصد بقاء نشان ندادند (جدول ۴).

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 زننده به دستگاه فتوسنتزی و به دنبال آن حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن فعال می‌شود (Kovac *et al.*, 2020). افزایش در میزان کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری در گیاه نخود متحمل نسبت به حساس گزارش شده است (Kafi *et al.*, 2011). مطالعات مختلف نشان داده است که تنش شوری سبب کاهش فتوسنتز می‌شود. این کاهش می‌تواند به دلایل مختلف مانند کاهش نفوذپذیری سلول به دی‌اکسید کربن ناشی از پلاسمولیز و بسته شدن روزنه‌ها، سمیت ناشی از یون‌های سدیم و کلر، ریزش برگ به‌دلیل تسریع فرآیند پیری به‌واسطه تجمع نمک، تغییرات ساختاری در آنزیم‌ها و به‌دنبال آن تغییر در فعالیت آن‌ها، کاهش مصرف اسیمیلات‌ها به دلیل کاهش رشد رخ دهد (Jaleel *et al.*, 2007). کاهش در فتوسنتز می‌تواند سبب کاهش تجمع رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شود. اگر چه، در ارتباط با اثر تنش شوری بر میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، نتایج مطالعات مختلف با یکدیگر همسو نیست.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های نخود کابلی تحت تأثیر تنش شوری $12dSm^{-1}$ کلرید سدیم

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	۱/۰۰												
۲	۰/۰۳۸^{ns}	۱/۰۰											
۳	۰/۱۱۰^{ns}	۰/۷۲۲**	۱/۰۰										
۴	۰/۱۹۰^{ns}	۰/۷۰۹**	۰/۰۴۰^{ns}	۱/۰۰									
۵	۰/۱۳۲^{ns}	۰/۹۲۹**	۰/۵۴۷**	۰/۷۸۹**	۱/۰۰								
۶	۰/۰۳۱^{ns}	۰/۹۹۲**	۰/۷۹۴**	۰/۶۲۸**	۰/۹۱۹**	۱/۰۰							
۷	−۰/۲۰۸^{ns}	۰/۲۰۹^{ns}	۰/۲۸۸*	۰/۰۱۰^{ns}	۰/۲۶۱*	۰/۲۴۶**	۱/۰۰						
۸	−۰/۲۰۷^{ns}	−۰/۱۰۷^{ns}	۰/۱۳۵^{ns}	۰/۰۳۶^{ns}	−۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۹۷^{ns}	−۰/۰۲۲^{ns}	۱/۰۰					
۹	−۰/۰۶۶^{ns}	−۰/۲۲۳^{ns}	−۰/۱۲۶^{ns}	−۰/۱۵۶^{ns}	−۰/۲۱۱^{ns}	−۰/۲۱۳^{ns}	−۰/۲۲۱^{ns}	−۰/۰۶۵^{ns}	۱/۰۰				
۱۰	−۰/۲۵۲*	−۰/۲۳۳*	−۰/۰۳۴^{ns}	−۰/۳۰۵**	−۰/۲۰۰^{ns}	−۰/۲۰۱^{ns}	−۰/۰۴۵^{ns}	−۰/۰۶۵^{ns}	۰/۱۱۹^{ns}	۱/۰۰			
۱۱	−۰/۱۸۲^{ns}	۰/۱۳۸^{ns}	۰/۲۶۱*	−۰/۰۵۶^{ns}	۰/۱۲۲^{ns}	۰/۱۶۹^{ns}	۰/۱۴۱^{ns}	۰/۱۰۵^{ns}	−۰/۰۶۸^{ns}	۰/۲۵۷*	۱/۰۰		
۱۲	−۰/۲۱۴^{ns}	۰/۱۳۲^{ns}	۰/۲۳۲^{ns}	−۰/۰۲۸^{ns}	۰/۰۵۶^{ns}	۰/۱۴۸*	−۰/۰۶۸^{ns}	۰/۰۵۳^{ns}	۰/۳۵۵**	۰/۰۹۹^{ns}	۰/۰۳۶^{ns}	۱/۰۰	
۱۳	−۰/۰۶۱^{ns}	−۰/۰۲۷^{ns}	−۰/۰۰۸^{ns}	−۰/۰۱۹^{ns}	−۰/۰۳۸^{ns}	−۰/۰۲۸^{ns}	−۰/۲۲۱^{ns}	−۰/۰۳۷^{ns}	−۰/۰۹۲^{ns}	۰/۰۹۹^{ns}	−۰/۰۴۲^{ns}	۰/۱۶۰^{ns}	۱/۰۰

۱: بقا، ۲: کلروفیل a، ۳: کلروفیل b، ۴: نسبت کلروفیل a/b، ۵: کاروتنوئیدها، ۶: رنگ‌دانه کل، ۷: فنل کل، ۸: کربوهیدرات‌های محلول، ۹: مالون دی‌آلدئید، ۱۰: پتانسیل اسمزی، ۱۱: پرولین، ۱۲: مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH، ۱۳: محتوای نسبی آب برگ، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ns: عدم معنی‌دار.

برخی از مطالعات بیان کرده‌اند که سطوح متوسط شوری سبب کاهش میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی می‌شود و ممکن است علت آن تخریب کلروفیل a توسط یون سدیم باشد (Pandey *et al*., 1999). اما در مقابل، برخی دیگر از مطالعات نشان دادند که با افزایش تنش شوری، میزان کلروفیل افزایش می‌یابد (Asch *et al*., 2000).

نتایج نشان داد که چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری $12dSm^{-1}$، از نظر میزان فنل کل بین ژنوتیپ‌های نخود کابلی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جداول ۱، ۲ و ۳). با افزایش درصد بقاء از ۲۶-۵۰ به ۵۱-۷۵ میانگین محتوای فنل کل ژنوتیپ‌های نخود افزایش یافت. اما، با افزایش درصد بقاء به بیش از ۷۵ درصد، میزان این شاخص کاهش یافت. بیشترین محتوای فنل کل (۲۹۹میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ MCC1141 با ۱۰۰ درصد بقاء مشاهده شد (جدول ۲). میزان فنل کل با میزان کلروفیل b، کاروتنوئید و رنگدانه کل همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۴).

در شرایط تنش شوری، مکانیسم‌های دفاعی مختلفی در گیاه فعال می‌شود که یکی از سیستم‌های غیرآنزیمی آن تولید ترکیب‌های ثانوی از جمله فنل‌ها است. فنل‌ها گروه وسیعی از ترکیب‌های را شامل می‌شوند و شامل فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی قوی در مقابل رادیکال‌های آزاد هستند (Moayedinezhad *et al*., 2020). در مطالعه حاضر، محتوای فنل یا افزایش تحمل گیاه به تنش افزایش یافت که می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در این ژنوتیپ‌ها مسیرهای بیوسنتزی و فعال‌سازی آنزیم‌های مؤثر در تولید ترکیب‌های فنلی تقویت شده است.

در مطالعه حاضر، بین ژنوتیپ‌های نخود کابلی در سطح تنش شوری $12dSm^{-1}$ از نظر محتوای کربوهیدرات‌های محلول تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱، ۲ و ۳). روند تغییرات محتوای کربوهیدرات‌های محلول، به نحوی بود که با افزایش دامنه بقاء از ۲۶-۵۱ درصد به ۵۱-۷۵ درصد، محتوای کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت. اما، در ژنوتیپ‌های دارای دامنه بقاء بیش از ۷۵ درصد این شاخص کاهش یافت و به کمترین مقدار خود رسید. بیشترین محتوای کربوهیدرات‌های محلول (۱/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ MCC1286 با دامنه بقاء ۸۰ درصد مشاهده شد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

(جدول ۱). بین محتوای کربوهیدرات‌های محلول با درصد بقاء، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و فنل کل همبستگی معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

مطالعات مختلف نشان داده است که تنش شوری، سبب کاهش محتوای کربوهیدرات‌های محلول در بخش هوایی گیاهان زراعی می‌شود (Al Abdallah *et al*., 2016). یکی از علت‌های این کاهش، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش شوری، تبدیل کربوهیدرات‌های درشت مولکول به قندهای ساده محلول که می‌تواند پروتئین‌ها را از آسیب ناشی از تنش محافظت کند، است (Bohnert and shen, 1999). از طرفی دیگر، در سلول‌های گیاهی، برای حفظ تورژسانس سلول و جلوگیری از پلاسمولیز تحت تنش شوری، مولکول‌های درشت مانند نشاسته به قندهای ساده مانند گلوکز تبدیل می‌شوند. این اتفاق، پتانسیل آب سلولی را منفی‌تر کرده و به حفظ تعادل اسمزی کمک می‌کند (Safikhani *et al*., 2007)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که کاهش محتوای کربوهیدرات‌های محلول به‌منظور تبدیل به قندهای ساده محلول یکی از سازوکارهای سازش در برابر تنش باشد. از این رو، کاهش محتوای کربوهیدرات‌های محلول در ژنوتیپ‌های دارای درصدهای بقاء بالاتر در مطالعه حاضر دور از انتظار نیست.

اثر ژنوتیپ‌های نخود بر محتوای مالون دی‌آلدئید در سطح تنش شوری ۱۲dSm^{-1} معنی‌دار بود (جدول ۱، ۲ و ۳). با افزایش درصد بقاء از ۲۶–۵۰ به ۵۱–۷۵ درصد محتوای مالون دی‌آلدئید کاهش یافت. اما، افزایش درصد بقاء به بالاتر از ۷۵ درصد، میزان این ویژگی افزایش یافت. بیشترین محتوای MDA (۶۱/۸۳ نانومول بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ MCC1212 با ۴۰ درصد بقاء مشاهده شد (جدول ۳). بر اساس جدول ۴، همبستگی آماری بین MDA با درصد بقاء، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، محتوای فنل کل و کربوهیدرات‌های محلول معنی‌دار نشد.

پراکسیداسیون لیپید، یک شاخص آسیب اکسیداتیو به غشاء سلول است. تجزیه لیپید، تولید MDA می‌کند، که فراوان‌ترین محصول تجزیه آن است. هر چه، میزان حساسیت گیاه به تنش شوری بیشتر باشد، میزان تجزیه لیپید و تولید MDA بیشتر است (Kaur *et al*., 2014)؛ بنابراین، کاهش میانگین میزان تولید MDA در درصدهای بالاتر بقاء منطقی و قابل انتظار است.

براساس نتایج مطالعه حاضر، چهار هفته بعد از اعمال تنش شوری ۱۲dSm^{-1}، از نظر میزان پتانسیل اسمزی بین ژنوتیپ‌های نخود کابلی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جداول ۱، ۲ و ۳). با افزایش درصد بقاء، میانگین پتانسیل اسمزی در ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. کمترین پتانسیل اسمزی (۴/۷– مگاپاسکال) در ژنوتیپ MCC1127 با درصد بقاء ۱۰۰ مشاهده شد (جدول ۱). بین پتانسیل اسمزی با درصد بقاء و میزان کلروفیل a یک همبستگی منفی در سطح احتمال یک درصد و بین این شاخص با نسبت کلروفیل a/b همبستگی منفی در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد (جدول ۴).

تعادل اسمزی به معنی نگهداری تورژسانس سلولی است که به‌واسطه افزایش تنظیم‌شده محلول‌های سلولی صورت می‌گیرد. گیاهان متحمل به شوری توانایی بیشتری برای تنظیم فشار اسمزی دارند. زمانی که سطح شوری کم و یا متوسط است، گیاهان قادر هستند که بدون از دست رفتن آب، کاهش پتانسیل اسمزی را تنظیم کنند. اما زمانی که گیاه حساس به تنش است، تجمع بالای نمک در آپوپلاست برگ به‌واسطه جریان تعرق می‌تواند به پتانسیل اسمزی خسارت بزند. در پژوهش‌های پیشین بین تحمل به شوری و پتانسیل اسمزی رابطه منفی گزارش شد که با نتایج این مطالعه همسو است (Nasiri *et al*., 2021).

بین ژنوتیپ‌های مختلف مورد بررسی از نظر محتوای پرولین تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱، ۲ و ۳). نتایج نشان داد که با افزایش درصد بقاء از ۲۶–۵۰ به ۵۱–۷۵ در میانگین محتوای پرولین افزایش یافت. اما با افزایش دامنه بقاء به بیش از ۷۵ درصد، میانگین محتوای پرولین کاهش یافت و به کمترین مقدار خود رسید. بیشترین محتوای پرولین (۱۱/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ MCC1035 با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

درصد بقاء ۷۰ مشاهده شد (جدول ۲). همچنین، یک همبستگی مثبت در سطح احتمال پنج درصد بین محتوای پرولین و محتوای کلروفیل b و پتانسیل اسمزی مشاهده شد (جدول ۴).

پرولین یک اسمولیت محافظ تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل است (Dashti *et al*., 2017). در شرایط تنش شوری، به دلیل کاهش سنتز پروتئین، مصرف پرولین کاهش یافته که می‌تواند دلیل تجمع پرولین در این شرایط باشد (Kucuk *et al*., 2007). زمانی که گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند، با کاهش آب و یا کاهش پتانسیل اسمزی مواجه می‌شوند. تصور بر این است که افزایش غلظت پرولین در این شرایط، عمومی‌ترین و فراوان‌ترین واکنش گیاه است (Delauney and Verna, 1993). اگر چه، هنوز اهمیت فیزیولوژیکی پرولین در بهبود اثرات زیان‌بار تنش در گیاهان به میزان کافی روشن نشده است (Mansour and Ali, 2017). گفته می‌شود که با وجود چالش‌های مختلفی که ارتباط بین تجمع پرولین و میزان حساسیت و یا تحمل به شوری را در گیاهان بررسی می‌کنند، اما، هنوز مدارک قانع‌کننده‌ای در این زمینه ارائه نشده است. افزایش میزان پرولین در ژنوتیپ‌های متحمل نخود گزارش شده است. به نظر می‌رسد که گیاهان حساس و متحمل به شوری، آستانه‌های متفاوتی برای تجمع پرولین داشته باشند. به این معنی که وقتی غلظت یون سدیم در محیط و گیاه به حد مشخصی برسد، انباشت پرولین صورت می‌گیرد که این حد در گونه‌های حساس و متحمل به شوری متفاوت است (Joseph *et al*., 2015). اما در مطالعه حاضر، محتوای پرولین در ژنوتیپ‌های حساس به شوری بیشتر بود که می‌تواند به دلیل نیاز کمتر ژنوتیپ‌های متحمل به پرولین باشد. از طرفی امکان دارد سیستم فعال‌سازی پرولین در ژنوتیپ‌های متحمل دیرتر نسبت به ژنوتیپ‌های حساس فعال شود.

مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH در ژنوتیپ‌های نخود چهار هفته بعد از اعمال تنش تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱، ۲ و ۳). با افزایش درصد بقاء، میانگین مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH کاهش یافت. در بین ژنوتیپ‌ها از نظر مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH تنوع زیادی وجود داشت. بیشترین میزان این ویژگی (۱/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ MCC1254 با درصد بقاء ۱۰۰ مشاهده شد (جدول ۱). نتایج جدول ۴ نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH با محتوای رنگ‌دانه کل و MDA به‌ترتیب در سطح آماری پنج و یک درصد است. گزارش‌های مختلف نشان داده است که با افزایش تنش شوری میزان مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH در ژنوتیپ‌های نخود نیز افزایش می‌یابد (Samanthi *et al*., 2015; Nasiri *et al*., 2021). چرا که در گیاهان حساس به تنش که مکانیسم‌های دفاعی ضعیف‌تر است، تجمع رادیکال‌های آزاد بیشتر خواهد بود که صدمات بیشتری را به چربی‌ها و پروتئین‌ها وارد می‌کند. در گیاهان متحمل مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH بیشتر شده و آن‌ها ظرفیت بهتری برای دفاع از خود به‌واسطه آن دارند.

محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های نخود مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جداول ۱، ۲ و ۳). با افزایش درصد بقاء میانگین محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. بیشترین محتوای نسبی آب برگ (بیش از ۹۵ درصد) مربوط به ژنوتیپ MCC1072 با درصد بقاء ۹۰ بود (جدول ۳). از طرفی دیگر، همبستگی معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ با هیچ یک از صفات مورد بررسی مشاهده نشد (جدول ۴).

محتوای نسبی آب برگ یک عامل برای تعیین میزان آب موجود در گیاه است و منعکس‌کننده فعالیت‌های متابولیکی بافت‌ها است. زمانی که محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد، به معنی کاهش در فشار تورژسانس سلول است که سبب کاهش آب مورد نیاز برای فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه می‌شود. در گیاهان حساس به شوری که جذب آب کاهش می‌یابد فشار تورژسانس سلول کاهش یافته و فشار اسمزی نیز کاهش می‌یابد (Sarker and Oba, 2020). گزارش‌های مختلف حاکی از این است که در گیاهان حساس به تنش شوری محتوای نسبی آب برگ کمتر از گیاهان متحمل است (Khedr *et al*., 2022). بین محتوای نسبی آب برگ و کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۵- تجزیه به عامل‌ها برای ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵
بقا	۰/۰۶۳	-۰/۶۸۳	-۰/۱۳۲	۰/۲۵۴	۰/۰۵۷
کلروفیل a	۰/۹۸۵	۰/۰۱۹	-۰/۱۰۶	۰/۰۰۸	-۰/۰۲۵
کلروفیل b	۰/۷۱۲	۰/۴۴۳	۰/۰۲۶	۰/۰۳۶	۰/۱۱۷
کلروفیل a/کلروفیل b	۰/۷۰۴	-۰/۴۱۷	-۰/۲۰۶	-۰/۰۳۵	-۰/۱۵۰
کاروتنوئیدها	۰/۹۴۸	-۰/۱۰۵	-۰/۰۸۸	۰/۱۲۳	۰/۰۰۱
رنگ‌دانه کل	۰/۹۸۳	۰/۰۸۴	-۰/۰۸۴	۰/۰۳۷	۰/۰۱۰
فنل کل	۰/۳۱۸	۰/۲۳۳	۰/۵۷۶	-۰/۰۱۶	۰/۳۸۷
کربوهیدرات‌های محلول	۰/۱۱۹	۰/۲۶۰	۰/۱۴۱	-۰/۷۴۶	-۰/۴۱۷
مالون دی‌آلدئید	-۰/۲۹۲	۰/۲۳۱	-۰/۶۱۲	-۰/۰۸۷	۰/۳۹۵
پتانسیل اسمزی	-۰/۲۷۸	۰/۵۴۹	۰/۰۱۰	۰/۴۸۶	-۰/۱۷۳
پرولین	۰/۱۷۸	۰/۵۳۱	۰/۲۷۳	۰/۳۱۸	-۰/۲۳۷
مهار فعالیت رادیکال آزاد	۰/۰۹۹	۰/۴۹۷	-۰/۵۹۹	-۰/۱۶۸	۰/۲۹۱
محتوای نسبی آب برگ	-۰/۰۷۴	۰/۱۳۲	-۰/۵۲۲	۰/۱۶۹	-۰/۵۵۳
مقدار ویژه	۴/۱۷	۱/۸۸	۱/۵۲	۱/۰۷	۱/۰۰
درصد تجمعی	۳۲/۰۶	۴۶/۵۱	۵۸/۱۹	۶۶/۴۱	۷۴/۰۸

کربوهیدرات‌های محلول رابطه منفی وجود داشت که با نتایج در مطالعه حاضر همسو بود. چرا که تبدیل کربوهیدرات‌ها به قندهای ساده‌تر در تنظیم اسمزی نقش مهمی دارند و کاهش در میزان قندها می‌تواند سبب کاهش پتانسیل اسمزی و بسته شدن روزنه‌ها شود.

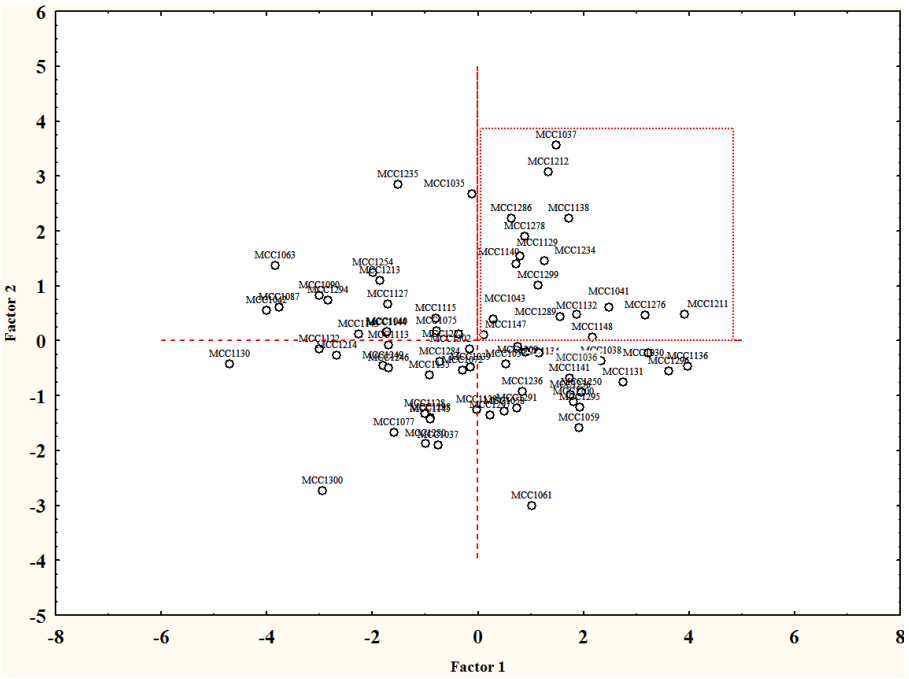
روش تجزیه به عامل‌ها می‌تواند اثر شرایط تنش را بر گروه‌بندی صفات مورد بررسی نشان دهد. در این مطالعه، ضرایب عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت گرفت (جدول ۵). عامل اول، ۳۲/۰۶ درصد تغییرات را توجیه می‌کند که شامل میزان کلروفیل a و b و نسبت آنها، محتوای کاروتنوئیدها و رنگ‌دانه کل است. عامل دوم، ۱۴/۴۵ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند که شامل درصد بقای گیاه با بار منفی و میزان پتانسیل اسمزی و پرولین است. عامل سوم، ۱۱/۶۸ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند که شامل میزان مالون دی‌آلدئید و DPPH با بار منفی و میزان فنل کل است. عامل چهارم، ۸/۲۲ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند که شامل میزان مالون دی‌آلدئید با بار منفی است و عامل پنجم، ۷/۶۷ درصد از تغییرات را که شامل محتوای نسبی آب برگ با بار منفی است، توجیه می‌کند.

از آنجایی که عامل اصلی اول و دوم به‌ویژه عامل اول، بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند، صفات درصد بقا، محتوای کلروفیل a، b و نسبت آنها، محتوای کاروتنوئیدها و رنگ‌دانه کل، میزان پتانسیل اسمزی و نیز محتوای پرولین به منظور تعیین و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شدند (شکل ۲). با توجه به دستگاه مختصات (شکل ۲)، ژنوتیپ‌های MCC1037، MCC1212، MCC1286، MCC1138، MCC1278، MCC1129، MCC1140، MCC1234، MCC1299، MCC1289، MCC1041، MCC1132، MCC1276، MCC1211، MCC1043، MCC1147 و MCC1148 از نظر عامل‌های اول و دوم به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش شوری معرفی شدند.

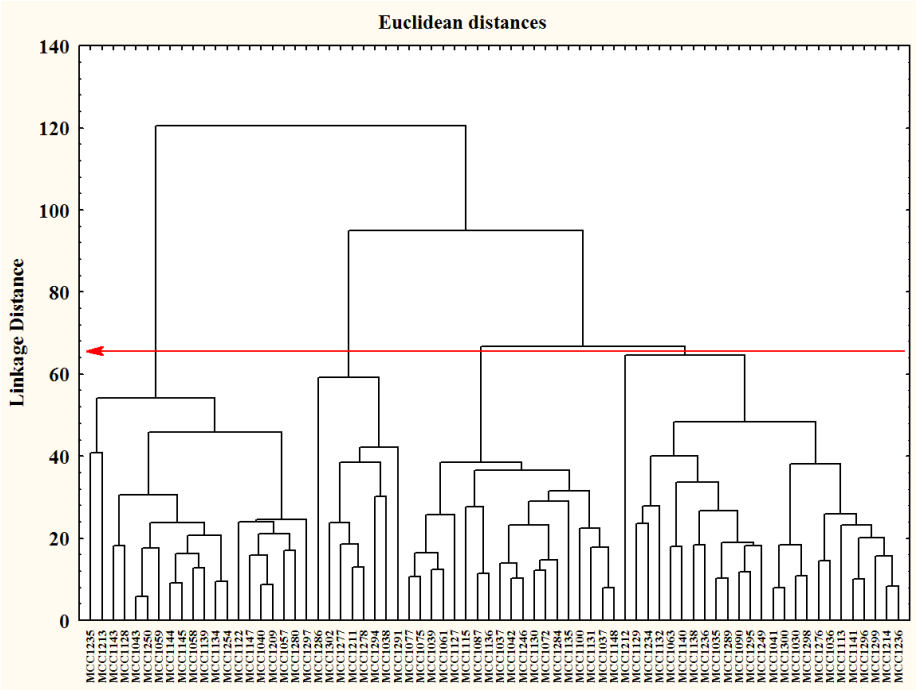
نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود کابلی نشان‌دهنده قرارگیری آن‌ها در چهار گروه مجزا بود که به‌ترتیب ۲۵، ۱۹، ۸ و ۲۰ ژنوتیپ در گروه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند (شکل ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]



شکل ۲- پراکنش ژنوتیپ‌های نخود براساس دو عامل اصلی اول و دوم



شکل ۳- دندوگرام مربوط به گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از صفات موردمطالعه

به‌منظور تأیید تفاوت بین گروه‌ها، تجزیه واریانس چند متغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل برای صفات مورد نظر انجام شد به‌طوری‌که گروه‌ها به‌عنوان تیمار و ژنوتیپ‌های داخل گروه‌ها به‌عنوان تکرار در نظر گفته شدند که در آن، آماره ویلکس لامبدا (Wilks' Lambda) تنها در متغیر اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت، بین بردار میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشته است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

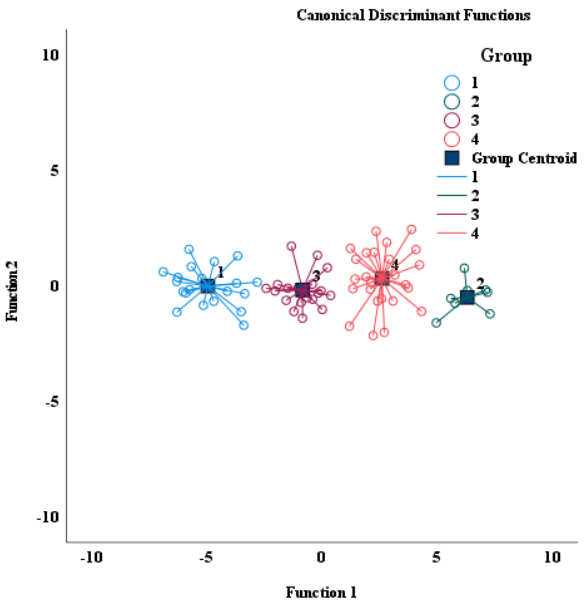
جدول ۶- تجزیه واریانس چند متغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل، آماره ویلکس لامبدا در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

عملکرد	درجه آزادی	آماره ویلکس لامبدا	کای اسکور	سطح احتمال
۱	۳۶	۰/۰۴۱	۲۰۱	۰/۰۰۰
۲	۲۲	۰/۶۷۵	۲۴/۷۵	۰/۳۰۹
۳	۱۰	۰/۸۸۱	۸/۰۰	۰/۶۲۸

جدول ۷- نتایج تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس تحت تنش شوری

گروه		گروه‌بندی				
		۱	۲	۳	۴	کل
کل	۱	۲۰	۰	۰	۰	۲۰
	۲	۰	۸	۰	۰	۸
	۳	۰	۰	۱۹	۰	۱۹
	۴	۰	۱	۰	۲۴	۲۵
درصد	۱	۱۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰
	۲	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
	۳	۰	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
	۴	۰	۴	۰	۹۶	۱۰۰

۹۸/۶ درصد موارد گروه‌بندی شده اصلی به درستی تقسیم‌بندی شده‌اند.



شکل ۴- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود براساس متغیرهای کانونیک معنی‌دار تحت تنش شوری

صحت گروه‌بندی‌های انجام‌شده از روش تجزیه خوشه‌ای، با استفاده از تجزیه تابع تشخیص انجام شد (جدول ۷). نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد گروه‌بندی تمامی ژنوتیپ‌ها به طرز صحیحی انجام شدند و میزان موفقیت کل تابع تشخیص برای تمام گروه‌ها بجز گروه هفت که چهار درصد ژنوتیپ‌ها در گروه خود قرار نگرفته‌اند، ۱۰۰ درصد بوده است. دیگر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۸- ضرایب استاندارد کانونیکی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

صفات	عملکرد کانونیکی		
	۱	۱	۳
بقا	-۰/۳۶۵	۰/۵۷۴*	-۰/۰۴۳
کلروفیل a	۰/۳۸۹	۲/۵۳۴	-۳/۷۱۴*
کلروفیل b	-۰/۰۲۶	-۰/۱۸۳	۲/۷۸۹*
کلروفیل a / کلروفیل b	۰/۴۸۹	۰/۰۸۵*	۲/۲۰۰
کاروتنوئیدها	-۰/۶۲۴	-۲/۵۹۰*	۰/۴۹۰
رنگ‌دانه کل	۱/۱۲۹*	۰/۱۰۷	-۰/۱۳۲
فنل کل	۰/۰۱۳	-۰/۴۰۷	۰/۵۱۴*
کربوهیدرات‌های محلول	-۰/۱۱۴	۰/۵۳۰	-۰/۲۶۰*
مالون دی آلدئید	۰/۱۱۲	۰/۲۳۹	۰/۲۵۶*
پتانسیل اسمزی	۰/۰۵۷	-۰/۰۱۶	-۰/۰۱۲*
پرولین	-۰/۳۱۴	-۰/۴۵۱*	-۰/۲۷۶
مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH	-۰/۱۷۳	-۰/۳۵۴	-۰/۵۰۵*
مقدار ویژه	۱۵/۶	۰/۳۰۵	۰/۱۳۵
درصد تجمعی	۹۷/۳	۹۹/۳	۱۰۰
ضریب کانونیکی	۰/۹۷**	۰/۴۳	۰/۳۵

***: بالاترین همبستگی مشاهده‌شده بین هر صفت و متغیر کانونیکی**

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) گروه‌ها براساس صفات مورد مطالعه نخود تحت تنش شوری

صفات	بین گروه‌ها	درون گروه‌ها
درجه آزادی	۳	۶۸
بقا	۷۴۴*	۲۸۱*
کلروفیل a	۰/۰۴۸	۰/۰۳۴ ns
کلروفیل b	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳ ns
کلروفیل a / کلروفیل b	۰/۰۴۴	۰/۱۴۰ ns
کاروتنوئیدها	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲ ns
رنگ‌دانه کل	۰/۱۳۱	۰/۰۷۴ ns
فنل کل	۹۳۵۲۱**	۳۶۸**
کربوهیدرات‌های محلول	۰/۰۶۸	۰/۰۴۶ ns
مالون دی‌آلدئید	۳۸۱	۱۶۲ ns
پتانسیل اسمزی	۰/۰۲۲	۰/۲۹۱ ns
پرولین	۲/۸ ns	۳/۶۶ ns
مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH	۰/۰۴۱ ns	۰/۰۴۱ ns
محتوای نسبی آب برگ	۱۳۷ *	۴۲/۰*

ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار سطح احتمال پنج و یک درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین و انحراف از میانگین صفات گروه‌ها در صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری

خوشه ۱	MCC1040, MCC1043, MCC1057, MCC1058, MCC1059, MCC1122, MCC1128, MCC1134, MCC1139, MCC1143, MCC1144, MCC1145, MCC1147, MCC1209, MCC1213, MCC1235, MCC1250, MCC1254, MCC1280,MCC1297
خوشه ۲	MCC1302, MCC1038, MCC1211, MCC1277, MCC1278, MCC1286, MCC1291, MCC1294
خوشه ۳	MCC1037, MCC1039, MCC1042, MCC1061, MCC1072, MCC1073, MCC1075, MCC1077, MCC1087, MCC1100, MCC1115, MCC1127, MCC1130, MCC1131, MCC1135, MCC1136, MCC1148, MCC1246, MCC1284
خوشه ۴	MCC1030, MCC1035, MCC1036, MCC1041, MCC1063, MCC1090, MCC1113, MCC1129, MCC1132, MCC1138, MCC1140, MCC1141, MCC1212, MCC1214, MCC1234, MCC1236, MCC1249, MCC1276, MCC1289, MCC1295, MCC1296, MCC1298, MCC1299, MCC1300, MCC1303

	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	خوشه ۴	کل
تعداد ژنوتیپ‌ها	۲۰	۸	۱۹	۲۵	۷۲
بقاء	۹۱/۰^{a}±۱۳/۷	۸۲/۳^{ab}±۱۲/۹	۸۷/۰^{ab}±۱۴/۵	۷۷/۵^{b}±۲۱/۰	۸۴/۳±۱۷/۳
کلروفیل a	۰/۷۳۷^{a}±۰/۱۳۸	۰/۸۳۸^{a}±۰/۱۷۹	۰/۷۳۷^{a}±۰/۲۰۵	۰/۸۲۲^{a}±۰/۲۰۲	۰/۷۷۸±۰/۱۸۶
کلروفیل b	۰/۳۴۰^{b}±۰/۰۴۳	۰/۳۸۶^{a}±۰/۰۶۴	۰/۳۳۶^{b}±۰/۰۵۶	۰/۳۶۲^{ab}±۰/۰۶۶	۰/۳۵۲±۰/۰۵۹
نسبت کلروفیل a/b	۲/۱۸^{a}±۰/۳۴۴	۲/۱۷^{a}±۰/۳۲۴	۲/۱۸^{a}±۰/۴۳۸	۲/۲۷^{a}±۰/۳۶۱	۲/۲۱±۰/۳۶۹
کاروتنوئیدها	۰/۱۵۳^{a}±۰/۰۳۵	۰/۱۷۹^{a}±۰/۰۵۰	۰/۱۵۷^{a}±۰/۰۵۲	۰/۱۸۴^{a}±۰/۰۵۰	۰/۱۶۸±۰/۰۴۸
رنگ‌دانه کل	۱/۲۳^{a}±۰/۱۹۳	۱/۴۰^{a}±۰/۲۷۴	۱/۲۳^{a}±۰/۲۳۰	۱/۳۷^{a}±۰/۳۰۲	۱/۳۰±۰/۲۷۷
فنل کل	۶۸/۸^{d}±۲۲/۷	۲۵۹^{a}±۲۰/۸	۱۳۹^{c}±۱۲/۷	۱۹۵^{b}±۲۰/۰	۱۵۲±۶۵/۶
کربوهیدرات‌های محلول	۰/۵۵۴^{a}±۰/۱۶۵	۰/۵۴۱^{a}±۰/۳۵۲	۰/۴۵۳^{a}±۰/۱۴۸	۰/۵۸۸^{a}±۰/۲۳۷	۰/۵۳۸±۰/۲۱۷
مالون دی‌آلدئید	۲۷/۸^{a}±۱۰/۹	۲۰/۱^{a}±۱۳/۳	۲۷/۷^{a}±۱۴/۴	۱۹/۷^{a}±۱۲/۵	۲۴/۱±۱۳/۱
پتانسیل اسمزی	−۲/۸۶^{a}±۰/۴۲۷	−۲/۸۱^{a}±۰/۶۵۴	−۲/۷۸^{a}±۰/۶۰۶	−۲/۸۱^{a}±۰/۵۲۹	−۲/۸۱±۰/۵۲۹
پرولین	۴/۹۶^{a}±۱/۷۱	۵/۷۱^{a}±۱/۷۴	۴/۸۷۷^{a}±۲/۰۴	۵/۵۶^{a}±۲/۰۱	۵/۲۳±۱/۹۰
محتوای نسبی آب	۶۶/۵^{a}±۶/۵۱	۵۸/۷^{b}±۱۲/۲	۶۶/۷^{a}±۴/۸۲	۶۵/۵^{a}±۵/۰۰	۶۵/۳±۶/۸
مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH	۰/۶۴۱^{a}±۰/۱۶۸	۰/۵۰۶^{a}±۰/۲۴۵	۰/۶۳۸^{a}±۰/۱۶۲	۰/۶۳۵^{a}±۰/۲۳۸	۰/۶۲۳±۰/۲۰۳

واحد اندازه‌گیری صفات: بقاء (درصد)، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، رنگ‌دانه کل، فنل کل، کربوهیدرات‌های محلول و پرولین (میلی‌گرم در گرم وزن تر)؛ مالون دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تر)؛ محتوای نسبی آب (درصد)؛ مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH (میلی‌گرم در گرم وزن تر)

مطالعات نیز از تجزیه تابع تشخیص برای بررسی صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود استفاده کرده‌اند (Alipoor Yamchi *et al*., 2013).

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس متغیرهای کانونیکی نشان می‌دهد که بیشترین فاصله به‌ترتیب بین گروه‌های ۲ با ۳، ۲ با ۱ و ۱ با ۴ مشاهده می‌شود. همچنین، کمترین فاصله بین گروه‌های ۲ با ۴ و ۴ با ۳ وجود دارد (شکل ۴). داده‌های جدول ۸ نیز نشان می‌دهد که بیشترین درصد تجمعی صفات بین گروه‌های ۳ و ۴ (۱۰۰ درصد) و کمترین میزان آن بین گروه‌های ۱ و ۲ (۹۷/۳ درصد) وجود دارد.

ضرایب استاندارد شده کانونیکی میزان فنل کل در معادله اول تشخیصی کانونیکی قابل توجه است. از طرفی ضرایب صفات درصد بقا، نسبت کلروفیل a/b، میزان کاروتنوئید و میزان DPPH در دومین معادله تشخیص کانونیکی بالا بود (جدول ۸). این نتایج نشان می‌دهد که این صفات بیشترین تأثیر را در تنوع بین ژنوتیپ‌ها دارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

تجزیه واریانس صفات مورد بررسی بین گروه‌ها نشان داد که در تنها در سه صفت مورد بررسی شامل درصد بقای بوته، میزان فنل کل و محتوای نسبی آب برگ اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده شد (جدول ۹).

بررسی تجزیه خوشه‌ای صفات مورد بررسی نشان داد که گروه یک دارای بیشترین درصد بقای بوته بوده و از این نظر تفاوت معنی‌داری با گروه چهارم نشان داد. همچنین، گروه دوم در مقایسه با دیگر گروه‌ها، دارای بیشترین محتوای کلروفیل a و b، کاروتنوئیدها و فنل کل بود. اگر چه، محتوای کربوهیدرات‌های محلول، MDA، پتانسیل اسمزی، پرولین و مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد DPPH تفاوت آماری معنی‌داری بین گروه‌ها نشان نداد (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی سطح تحمل متفاوتی نسبت به تنش شوری دارند. به‌طورکلی، بیشتر صفات مورد بررسی همبستگی منفی با درصد بقاء داشتند، اگر چه از نظر آماری معنی‌دار نبود. تنها، پتانسیل اسمزی همبستگی مثبتی با درصد بقاء داشتند. به‌طورکلی، گروه اول دارای درصد بقای بالاتری نسبت به دیگر گروه‌ها بود. در کل، تمام ژنوتیپ‌های دارای درصد بقای بالای ۷۵، نسبت به شوری تحمل مناسبی داشتند که می‌توانند در مطالعات به‌گزینی دیگر مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

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

Ahammed, G. J., Li, Y., Li, X., Han, W. Y. and Chen, S. (2018) Epigallocatechin-3-gallate alleviates salinity-retarded seed germination and oxidative stress in tomato. Journal of Plant Growth Regulation 37: 1349-1356.

Al Abdallah, Q., Nixon, B. T. and Fortwendel, J. R. (2016) The enzymatic conversion of major algal and cyanobacterial carbohydrates to bioethanol. Frontiers in Energy Research 4: 1-15.

Alipoor Yamchi, H., Bihamta, M., Peyghambari, S. A., Naghavi, M. and Majnoon Hoseini, N. (2013) Grouping of Kabuli chickpea genotypes using multivariate statistical methods. Iranian Journal Pulses Research 4: 15-25.

Apse, M. P., Aharon, G. S., Snedden, W. A. and Blumwald, E. (1999) Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na^+/H^+ antiport in Arabidopsis. Science 285: 1256-1258.

Araujo, S. S., Beebe, S., Crespi, M., Delbreil, B., Gonzalez, E. M., Gruber, V. and Patto, M. C. (2015) Abiotic stress responses in legumes: Strategies used to cope with environmental challenges. Critical Reviews in Plant Sciences 34: 237-280.

Asch, F., Dingkuhn, M. and Dorffling, K. (2000) Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field-grown, irrigated rice. Plant and Soil 218: 1-10.

Awlia, M., Nigro, A., Fajkus, J., Schmoeckel, S. M., Negrao, S., Santelia, D., Trtilek, M., Tester, M., Julkowska, M. M. and Panzarova, K. (2016) High-throughput non-destructive phenotyping of traits that contribute to salinity tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Frontiers in Plant Science 7: 1414.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Berger, E., Fror, O. and Schafer, R. B. (2019) Salinity impacts on river ecosystem processes: A critical mini-review. Philosophical Transactions of the Royal Society B 374: 1-10.

Bohnert, H. J., Su, H. and Shen, B. (1999) Molecular Mechanisms of Salinity Tolerance. Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants. 1st Ed. TX: RG Landes Company, Austin.

Boschin, G., Scigliuolo, G. M., Resta, D. and Arnoldi, A. (2014) ACE-inhibitory activity of enzymatic protein hydrolysates from lupin and other legumes. Food Chemistry 145: 34-40.

Bulseco, A. N., Giblin, A. E., Tucker, J., Murphy, A. E., Sanderman, J., Hiller-Bittrolff, K. and Bowen, J. L. (2019) Nitrate addition stimulates microbial decomposition of organic matter in salt marsh sediments. Global Change Biology 25: 3224-3241.

Conde, C., Silva, P., Agasse, A., Lemoine, R., Delrot, S., Tavares, R. and Geros, H. (2007) Utilization and transport of mannitol in *Olea europaea* and implications for salt stress tolerance. Plant and Cell Physiology 48: 42-53.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

Dashti, H., Westler, W. M., Tonelli, M., Wedell, J. R., Markley, J. L. and Eghbalnia, H. R. (2017) Spin system modeling of nuclear magnetic resonance spectra for applications in metabolomics and small molecule screening. Analytical Chemistry 89: 12201-12208.

Delauney, A. J. and Verma, D. P. (1993) Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. The Plant Journal 4: 215-223.

Dere, S., Gines, T. and Sivaci, R. (1998) Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Turkish Journal of Botany 22: 13-17.

Dietz, K. J., Tavakoli, N., Kluge, C., Mimura, T., Sharma, S. S., Harris, G. C. and Golldack, D. (2001) Significance of the V-type ATPase for the adaptation to stressful growth conditions and its regulation on the molecular and biochemical level. Journal of Experimental Botany 52: 1969-1980.

Dubois, M., Gilles, G. A., Hamilton, J. K., Rober, P. A. and Smith, F. (1951) Colorimetric estimation of carbohydrates by phenol sulphuric acid method. Analytical Chemistry 28: 350-356.

Fatima, A., Singh, G., Patel, A., Tiwari, S., Gupta, D., Prajapati, D. K. and Prasad, S. M. (2021) Effects of salt stress on osmolyte metabolism of crop plants and mitigating strategy by osmolyte. Physiology of Salt Stress in Plants: Perception, Signalling, Omics and Tolerance Mechanism 177-197.

Gupta, B. and Huang, B. (2014) Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics 1-18.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.

Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950) The Water-Culture Method for Growing Plants Without Soil. 2nd Ed. Circular. California Agricultural Experiment Station 347.

Hussain, S., Bai, Z., Huang, J., Cao, X., Zhu, L., Zhu, C. and Zhang, J. (2019) 1-Methylcyclopropene modulates physiological, biochemical, and antioxidant responses of rice to different salt stress levels. Frontiers in Plant Science 10: 1-18.

Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. (2007) Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. South African Journal of Botany 73: 190-195.

Joseph, E. A., Radhakrishnan, V. V. and Mohanan, K. V. (2015) A study on the accumulation of proline-an osmoprotectant amino acid under salt stress in some native rice cultivars of North Kerala, India. Universal Journal of Agricultural Research 3: 15-22.

Kafi, M., Bagheri, A., Nabati, J., Zare Mehrjerdi, M. and Masomi, A. (2011) Effect of salinity on some physiological variables of 11 chickpea genotypes under hydroponic conditions. Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology 1: 55-70.

Kafi, M., Nabati, J. and Nezami, A. (2020) Evaluation of salinity tolerance of kabuli-type chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) at seedling stage in hydroponic condition. Iranian Journal of Field Crop Science 51: 39-54.

Kaur, N., Kumar, A., Kaur, K., Gupta, A. K. and Singh, I. (2014) DPPH radical scavenging activity and contents of H_2O_2, malondialdehyde and proline in determining salinity tolerance in chickpea seedlings. Indian Journal of Biochemistry and Biophysics 51: 407-415.

Khedr, R. A., Sorour, S. G. R., Aboukhadrah, S. H., El Shafey, N. M., Abd Elsalam, H. E., El-Sharnouby, M. E. and El-Tahan, A. M. (2022) Alleviation of salinity stress effects on agro-physiological traits of wheat by auxin, glycine betaine, and soil additives. Saudi Journal of Biological Sciences 29: 534-540.

Kovac, D., Vesela, B., Klem, K., Vecerova, K., Kmecova, Z. M., Penuelas, J. and Urban, O. (2020) Correction of PRI for carotenoid pigment pools improves photosynthesis estimation across different irradiance and temperature conditions. Remote Sensing of Environment 244: 111834.

Kucuk, M., Kolaylı, S., Karaoglu, S., Ulusoy, E., Baltaci, C. and Candan, F. (2007) Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia. Food Chemistry 100: 526-534.

Kumari, S., Vaishnav, A., Jain, S., Varma, A. and Choudhary, D. K. (2015) Bacterial-mediated induction of systemic tolerance to salinity with expression of stress alleviating enzymes in soybean (*Glycine max* L. Merrill). Journal of Plant Growth Regulation 34: 558-573.

Maathuis, F. J., Ahmad, I. and Patishtan, J. (2014) Regulation of Na^+ fluxes in plants. Frontiers in Plant Science 5: 1-9.

Maliro, M. F., McNeil, D., Kollmorgen, J., Pittock, C. and Redden, R. (2004) Screening chickpea (*Cicer arietinum* L.) and wild relatives germplasm from diverse country sources for salt tolerance. In Proceedings of the 4th International Crop Science Congress 26: 274.

Mansour, M. M. and Ali, E. F. (2017) Evaluation of proline functions in saline conditions. Phytochemistry 140: 52-68.

Moayedinezhad, A., Mohammadparast, B., Hosseini Salekdeh, G., Mohsenifard, E. and Nejatian, M. A. (2020) Effects of drought stress on total phenolics, phenolic acids, polyamines and some organic acids in two important Iranian grapevine cultivars. Plant Process and Function 8: 19-26.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P. and Nikam, T. D. (2016) Plant salt stress: Adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. The Botanical Review 82: 371-406.

Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A. and Kafi, M. (2021) Screening of Kabuli-type chickpea genotypes for salinity tolerance under field condition. Environmental Stresses in Crop Sciences 14: 1055-1068.

Pandey, R., Kumar, R., Singh, S. P., Saxena, D. K. and Srivastava, S. P. (1999) Male reproductive effect of nickel sulphate in mice. Biometals 12: 339-346.

Peng, J., Wegner, C. E. and Liesack, W. (2017) Short-term exposure of paddy soil microbial communities to salt stress triggers different transcriptional responses of key taxonomic groups. Frontiers in Microbiology 8: 1-12.

Pushpavalli, R., Quealy, J., Colmer, T. D., Turner, N. C., Siddique, K. H., Rao, M. V. and Vadez, V. (2016) Salt stress delayed flowering and reduced reproductive success of chickpea (*Cicer arietinum* L.), a response associated with Na^+ accumulation in leaves. Journal of Agronomy and Crop Science 202: 125-138.

Reginato, M., Luna, V. and Papenbrock, J. (2021) Current knowledge about Na_2SO_4 effects on plants: What is different in comparison to NaCl?. Journal of Plant Research 134: 1159-1179.

Safikhani, F., Heydari Sharifabad, H., Syadat, A., Sharifi Ashorabadi, E., Syednedjad, S. M. and Abbaszadeh, B. (2007) The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 23: 86-99.

Samanthi, K. A. U., Wickramaarachchi, S., Wijeratne, E. M. K. and Paranagama, P. A. (2015) Two new antioxidant active polyketides from *Penicillium citrinum*, an endolichenic fungus isolated from Parmotrema species in Sri Lanka. Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka 2015 43: 119-126.

Sarker, U. and Oba, S. (2020) The response of salinity stress-induced A. tricolor to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. Frontiers in Plant Science 11: 1-14.

Singleton, V. L. and Rossi, J. A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture 16: 144-158.

Smart, R. E. and Bingham, G. E. (1974) Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology 53: 258-260.

Turner, N. C., Colmer, T. D., Quealy, J., Pushpavalli, R., Krishnamurthy, L., Kaur, J. and Vadez, V. (2013) Salinity tolerance and ion accumulation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) subjected to salt stress. Plant and Soil 365: 347-361.

Wang, Y., Pedersen, C. M., Qiao, Y., Deng, T., Shi, J. and Hou, X. (2015) In situ NMR spectroscopy: Inulin biomass conversion in $ZnCl_2$ molten salt hydrate medium-$SnCl_4$ addition controls product distribution. Carbohydrate Polymers 115: 439-443.

Wu, D., Cai, S., Chen, M., Ye, L., Chen, Z., Zhang, H. and Zhang, G. (2013) Tissue metabolic responses to salt stress in wild and cultivated barley. PLos One 8: e55431.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]

Study of the effect of salt stress on biochemical traits of chickpea genotypes (*Cicer arietinum*)

Jafar Nabati * [1], Rezvan Ramezannejad[2], Ahmad Nezami[3]

[1] Plant Sciences Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
[2] PhD in Plant Physiology, Academic Center for Education, Culture and Research: ACECR, Khorasan Razavi Province, Mashhad, Iran
[3] Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Received: 09/07/2022, Accepted: 20/12/2022)

Abstract

Salinity is one of the most important non-biological stresses that has an adverse effect on the growth and production of crops. Chickpea (Cicer arietinum L.) is sensitive to salt stress. This study was performed to select the salt tolerance genotypes of chickpea. For this purpose, 72 genotypes were screened for dSm-112 salinity tolerance. This study was performed in a completely randomized design with three replications as hydroponic culture. Among the studied genotypes, 53 genotypes had a survival of more than 75%, and no genotype had a survival of less than 25%. The highest mean content of soluble carbohydrates, total phenol, proline, osmotic potential, inhibition of free radical activity of DPPH and relative water content were observed in genotypes with a survival range of 100-76%. The mean malondialdehyde content was highest in genotypes with a survival range of 50-26%. The results of cluster analysis showed the relative superiority of the second group genotypes including MCC1037, MCC1212, MCC1286, MCC1138, MCC1278, MCC1129, MCC1140, MCC1234, MCC1299, MCC1289, MCC1041, MCC1132, MCC1276, MCC1211, MCC1211 and MCC1010 in most of the studied traits. Chickpea genotypes appear to use a variety of mechanisms to tolerate salinity, which helps to replace more salinity-tolerant genotypes in tolerant chickpea.

Keywords: Survival, Reproduction, Screening, Salinity tolerance, Hydroponics

Corresponding author, Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.24.4]