

Investigation of Genetic Diversity and Multivariate Analysis of some Iranian melon cultivars based on Morpho-physiological characteristics under Salinity Stress in Greenhouse

Zahra Piri¹, Farzad Rasouli^{2*} , Nasser Sabaghnia³, Ahmad Aghaei⁴, Rana Panahi Tajaragh¹

Received: 04 October 2023

Accepted: 05 June 2024

1-MSc. Former Horticulture Science, Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

3- Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

4- Assist. Prof., Dept. of Biology, Faculty of Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

*Corresponding Author E-mail: farrasoli@gmail.com

Abstract

Background and Objectives: Salinity is one of the most important abiotic stresses limiting crop production worldwide. Considering the increasing extent of saline lands and the high costs of soil reclamation, identifying plant genotypes with high salinity tolerance is a priority in breeding programs. This study was conducted to evaluate genetic variation among 10 Iranian native melon (*Cucumis melo* L.) populations under salinity stress and to identify salt-tolerant genotypes.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a factorial arrangement in a completely randomized design with three replications under controlled greenhouse conditions. Ten native melon populations were exposed to different salinity levels using NaCl (including a non-stress control and salinity treatments up to 150 mM). Morphophysiological traits such as shoot fresh weight, chlorophyll index (SPAD), relative water content (RWC), membrane stability index (MSI), electrolyte leakage, and Na and K concentrations and their ratio (K/Na) in the leaves were measured.

Results: Under salinity stress, the highest shoot fresh weight (346.5 g) and chlorophyll index (69.3) were obtained in the 'Kalk Sardasht' genotype under non-stress conditions, while the lowest values were recorded in 'Tokhmeh Ata' (38.47 g) and 'Amoochi Daraz' (31.57 g) at 150 mM NaCl. The highest relative water content and membrane stability index were observed in 'Kalk Qorveh' under control conditions, whereas 'Tokhmeh Ata' showed the lowest values at the highest salinity level (RWC = 65.28%) and the highest electrolyte leakage (99.76%). The highest Na (22.57 mg g⁻¹ FW), K (27.48 mg g⁻¹ FW) and K/Na ratio (23.32) were found in 'Qobadlou', 'Qasr Shirin' and 'Tokhmeh Ata', respectively, while the lowest values (0.94 mg g⁻¹ FW for Na and 4.81 mg g⁻¹ FW for K) were also observed in 'Tokhmeh Ata' seeds.

Conclusion: Overall, the results indicated considerable genetic variation among the studied melon populations in response to salinity stress. Given their superior performance across most morphophysiological traits under salt stress, the cultivars 'Shalagh' and 'Girke' can be considered valuable genetic resources for melon improvement and breeding programs aimed at enhancing salinity tolerance.

Keywords: Evaluation, MSI, RWC, Salinity, SPAD



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2026 Farzad Rasouli E-mail: farrasoli@gmail.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.58711.3126>





بررسی تنوع ژنتیکی و آنالیز چند متغیره برخی ارقام خربزه ایرانی بر اساس ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی تحت تنش شوری در شرایط گلخانه‌ای

زهرا پیری^۱، فرزاد رسولی^{۲*}، ناصر صباغ‌نیا^۳، احمد آقایی^۴، رعنا پناهی تجرق^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲

- ۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
- ۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
- ۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
- ۴- استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه

چکیده

زمینه و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده تولید محصولات زراعی در جهان است. با توجه به گسترش روزافزون اراضی شور و هزینه‌های بالای اصلاح خاک، شناسایی ژنوتیپ‌های گیاهی متحمل به شوری از اولویت‌های اصلی در برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود. پژوهش حاضر با هدف بررسی تنوع ژنتیکی ده توده بومی ایرانی طالبی (*Cucumis melo* L.) در پاسخ به تنش شوری و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، تحت شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای اجرا گردید. ده توده بومی خربزه و طالبی در سطوح مختلف شوری اعمال شده توسط کلرید سدیم (شامل شاهد بدون شوری و تیمارهای شور تا غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار) مورد بررسی قرار گرفتند. صفات مورفوفیزیولوژیک شامل وزن تر اندام هوایی، شاخص کلروفیل (SPAD)، درصد آب نسبی برگ (RWC)، شاخص پایداری غشاء (MSI)، نشت الکترولیت و غلظت سدیم و پتاسیم و نسبت K/Na در برگ‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: تحت شرایط تنش شوری، بیشترین وزن تر اندام هوایی (۳۴۶/۵ گرم) و شاخص کلروفیل (۶۹/۳) در ژنوتیپ کالک سردشت در شرایط بدون شوری به دست آمد، در حالی که کمترین مقادیر این صفات در ژنوتیپ‌های تخمه آتا (۳۸/۴۷ گرم) و آموچی دراز (۳۱/۵۷ گرم) در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد. بیشترین درصد آب نسبی و شاخص پایداری غشاء در ژنوتیپ کالک قروه در شرایط شاهد و کمترین مقدار در ژنوتیپ تخمه آتا در بالاترین سطح شوری ثبت شد (به ترتیب ۹۶/۳۲ و ۶۵/۲۸ درصد)، در حالی که بیشترین نشت الکترولیت (۹۹/۷۶ درصد) نیز در همین ژنوتیپ و بالاترین سطح شوری مشاهده گردید. بیشترین غلظت سدیم (۲۲/۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، پتاسیم (۲۷/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و نسبت K/Na (۲۳/۳۲) به ترتیب در ژنوتیپ‌های قبادلو، قصر شیرین و تخمه آتا به دست آمد، در حالی که کمترین مقادیر سدیم (۰/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و پتاسیم (۴/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز در ژنوتیپ تخمه آتا مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی قابل توجهی در میان توده‌های بومی طالبی مورد مطالعه در پاسخ به تنش شوری است. با توجه به عملکرد برتر ژنوتیپ‌های شالغ و گرکه در اغلب صفات مورفوفیزیولوژیک تحت شرایط شور، این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های به‌نژادی و به‌نژادی طالبی با هدف افزایش تحمل به شوری مورد استفاده قرار گیرند.

واژه های کلیدی: ارزیابی، پایداری غشا، شوری، شاخص سبزینگی، محتوای رطوبت نسبی

مقدمه

خربزه و طالبی یا ملونها با نام علمی (*Cucumis melo*L.) از مهمترین محصولات باغی به‌طور گسترده در مناطق خشک و نیمه خشک جهان کشت می‌شود (اکرمی و ارزانی ۲۰۱۸). سوابق تاریخی نشان می‌دهد که خربزه در حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در ایران کشت شده است. گروه‌های مختلفی از ملونهای زراعی در ایران پرورش می‌یابند. اما عمده‌ترین انواع تجاری آن نوع خربزه *Inodorus* و *Cantalupensis* طالبی ها می‌باشد (سرابی و همکاران ۲۰۱۷). تولید خربزه در جهان بیش از ۲۸ میلیون تن در سطح زیر کشت تقریباً ۳۸۵ هزار متر مربع بوده است و سطح کشت این محصول در ایران بیش از ۷۸ هزار هکتار با یک میلیون و چهارصد و هشت هزار تن تولید گزارش شده است (فائو ۲۰۲۱).

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاه در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران است (استاجی و همکاران ۲۰۱۸ و خلوندی و همکاران ۲۰۱۹) که تقریباً ۲۰ درصد از زمین‌های آبیاری جهان را تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش قابل توجهی از عملکرد محصول می‌شود (قادری ۲۰۱۴). نتایج مطالعات پیشین نشان داده است شوری بر عملکردهای مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. شوری از جوانه زنی بذر، رشد، نمو و عملکرد گیاه جلوگیری می‌کند (ژانگ و دای، ۲۰۱۹). شوری با کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها، فراساختار کلروپلاست و فتوسیستم II، کاهش هدایت روزنه‌ای، سیستم‌های فتوسنتزی، تعرق و تبادل گازی را مختل می‌کند (پان و همکاران، ۲۰۲۱). شوری خاک پتانسیل آب خاک و پتانسیل آب برگ را کاهش می‌دهد. روابط آبی گیاه را مختل می‌کند و تورژسانس گیاه را کاهش می‌دهد که در نهایت منجر به تنش اسمزی می‌شود (نوادا و همکاران، ۲۰۲۰).

همچنین شوری محتوای گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سلول گیاهی را در نتیجه سمیت یونی و اختلال در هموستاز یون، افزایش می‌دهد (عارف و همکاران، ۲۰۲۰). تحمل به شوری به عنوان یک ویژگی پیچیده در تنش‌های اسمزی، سمیت یونی خاص، عدم تعادل مواد مغذی و کمبود به صورت جداگانه یا ترکیبی از این اختلالات سلولی عمل می‌کند که بستگی به مرحله رشد، شدت شوری و مدت زمان قرار گرفتن در معرض شوری دارد (ارزانی و اشرف ۲۰۱۶). گیاه استراتژی‌های متنوع بیوشیمیایی و فیزیولوژی را برای کاهش اثرات مخرب تنش شوری از جمله تنظیم اسمزی، افزایش تجمع تنظیم اسمولیت‌ها در هموستازی یون و دفاع آنتی‌اکسیدانی تکامل داده که همگی باعث عملکرد سلول و همچنین یکپارچگی غشاء می‌شوند (اکرمی و ارزانی ۲۰۱۸).

پیشرفت در اصلاح محصول برای تحمل به تنش شوری ممکن است فقط با استفاده از صفات کلیدی به صورت هرمی و به واسطه پاسخ‌های سازگار گیاه به مقادیر زیاد نمک محلول در ریزوسفر حاصل شود (پرسی و همکاران ۲۰۱۶) که این کار ممکن به وسیله مطالعه تنوع طبیعی در تحمل به شوری در بین گونه‌های گیاهی تسهیل شود (ولکو ۲۰۱۵). در دهه‌های اخیر برای بهبود تحمل شوری در محصولات، از روش‌های متداول انتخاب و اصلاح استفاده شده است. با توجه به تنوع گسترده ژنومورفولوژی، توپوگرافی و شرایط آب و هوایی در ایران، خربزه‌های ایرانی سازگاری زیادی با شرایط محیطی دارند و حاوی منبع ارزشمندی از ژن‌های مفید هستند که می‌توانند تنوع ژنتیکی گسترده‌ای را برای بهبود تحمل شوری ارقام خربزه فراهم کنند (سرابی و همکاران ۲۰۱۷).

در چندین پژوهشی که تنش شوری بر ارقام خربزه مطالعه شده، بر چرخه کامل محصول یا در مراحل خاص

فنولوژی تمرکز کردند و نشان دادند که خربزه نسبت به شوری حساس و نسبتاً حساس است و تغییرات توده بومی قابل توجهی را در پاسخ به تنش شوری نشان می‌دهد (تدسچی و همکاران ۲۰۱۱ و اردنیک و همکاران ۲۰۲۱). در یک آزمایش گلخانه‌ای که اثر تنش شوری روی رشد و میزان انباشت یون‌ها روی ۱۴ رقم خربزه انجام شد، نتایج نشان داد که افزایش سطح شوری باعث کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم شده است (شفیعی و همکاران ۱۳۹۸). اکینکی آلپ (۲۰۱۹) بر روی ۱۳ توده بومی خربزه و ۴ رقم تجاری خربزه که از حوضه دریاچه وان جمع آوری شده بود بر اساس صفات مورفولوژی مطالعه کرد و دریافت که تحمل به شوری در خربزه بستگی به ارقام دارد. همچنین داسیلوا و همکاران (۲۰۲۰) در نتایج خود بیان کردند در شرایط تنش شوری، محتوای آب برگ، پایداری غشا، تراکم روزنه و تریکوم، سطح برگ، زیست توده، غلظت پتاسیم برگ و ریشه در خربزه کاهش یافت. گزارش شده است که اگرچه اکثر گیاهان زراعی مانند لوبیا، هویج و پیازخوراکی به نمک حساس هستند (پتروپولوس و همکاران ۲۰۱۷)، خربزه تحمل متوسطی به تنش شوری از خود نشان داد، اما به دلیل وجود ارقام متحمل و حساس، شرایط در بین واریته‌ها متفاوت بود (دامیانوس و ساواس ۲۰۱۶). با توجه به روند افزایشی اراضی شور و هزینه‌های سنگین اصلاح این اراضی و نهایتاً غیر قابل کشت شدن آن‌ها شناسایی توده بومی‌های مقاوم به شوری و انتخاب توده بومی از گیاه با سازگاری بیشتر در ارتباط با آب و خاک دارای املاح شور از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به اینکه گسترش گیاهان مقاوم به تنش یکی از هدف‌های مهم برنامه‌های به‌نژادی و تولیدی است، ارزیابی تنوع ژنتیکی در گیاهان برای برنامه‌های اصلاحی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این راستا هدف از انجام این پژوهش تعیین مقاومت نسبی، گزینش و ارزیابی توده بومی‌های مقاوم و سازگار با شرایط شوری می‌باشد، تا بتوان در برنامه‌های به‌زراعی، به‌نژادی و ایجاد توده بومی‌های اصلاح شده جدید که دارای مقاومت بالایی نسبت به شوری هستند، مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی و ارزیابی تنوع ژنتیکی ده توده بومی خربزه ایرانی (آناناسی، قبادلو، گرکه بوکان، قصرشیرین، آموچی‌ران، تخمه آتا، خرچه، شالاغ، کالک قروه و کالک سردشت) نسبت به تنش شوری با هدف شناسایی و معرفی توده‌های بومی خربزه ایرانی جهت کاشت در مناطق شور ایران صورت گرفت. بذور طبق جدول (۱) از نواحی مختلف ایران جمع آوری شد و سپس در گلدان‌های ۷ لیتری با استفاده از ماسه در گلخانه گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور، نمک NaCl در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و فاکتور دوم نوع توده بومی در سه تکرار در محیط کشت هیدروپونیک انجام شد. محلول غذایی مورد استفاده محلول هوگلند بود که مطابق با نیاز گیاه به صورت یک روز در میان مصرف شد و بعد از استقرار گیاه در مرحله ۶ برگی مقادیر ذکر شده کلرید سدیم به محلول هوگلند افزوده شد و تیماردهی به مدت ۴۰ روز انجام گرفت. برای آبیاری گیاهان شاهد از هوگلند استفاده شد. جهت شناسایی ارقام متحمل به شوری صفات تعداد برگ، طول و قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه و ریشه، شاخص سبزیگی، نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب، پایداری غشا و غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم ارزیابی شد. ترکیب عناصر موجود در محلول هوگلند در جدول (۲) و میزان pH و EC محلول‌ها اندازه‌گیری و در جدول (۳) بیان شد.

اندازه‌گیری طول ساقه

برای اندازه‌گیری این شاخص از خطکش استفاده گردید. ارتفاع توده بومی‌ها برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت گردید.

اندازه‌گیری قطر ساقه

برای اندازه‌گیری این شاخص از کولیس دیجیتالی استفاده گردید. قطر ساقه توده بومی‌ها برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری و ثبت گردید.

جدول ۱- محل جمع آوری توده های بومی خربزه

اسم ژنوتیپ	محل جمع آوری
آناناسی	مشهد
قبادلو	عجب شیر
گرکه	بوکان
قصر شیرین	قصر شیرین
آموچی دراز	اصفهان
تخمه آتا	اصفهان
خرچه	مراغه
شالاغ	ماکو
کالک	قروه
کالک	سردهشت

جدول ۲- سطوح مختلف شوری pH و EC

تیمار	EC (dS/m)	pH
شاهد	۱/۱۴	۶/۵۷
۵۰ میلی مولار	۵/۹۲	۶/۶۲
۱۰۰ میلی مولار	۱۰/۴۵	۶/۶۶
۱۵۰ میلی مولار	۱۴/۹۵	۶/۶۸

جدول ۳- میزان ترکیبات مورد استفاده در غلظت های مختلف هوکلند

عناصر ماکرو	گرم	عناصر میکرو	میلی گرم
Ca(NO ₃).2H ₂ O	۰/۴۷	H ₃ BO ₃	۲/۲۸
KNO ₃	۰/۳	MnCl ₂ .4H ₂ O	۱/۸۱
MgSO ₄ .7H ₂ O	۰/۲۵	ZnSO ₄ .7H ₂ O	۰/۲۲
NH ₄ H ₂ PO ₄	۰/۰۶	NaMoO ₄ .2H ₂ O	۰/۰۲
Fe EDTA	۰/۱	CuSO ₄ .5H ₂ O	۰/۰۸

اندازه گیری وزن تر و خشک

در انتهای رشد (۴۰ روز بعد از اعمال تیمار) به طور تصادفی از هر واحد آزمایشی یک گیاه برداشت شد. وزن تر گیاه و ریشه با استفاده از ترازوی حساس (با دقت ۰/۰۱ گرم) اندازه گیری گردید. سپس اندام هوایی هر گیاه

به صورت جداگانه در داخل پاکت قرار داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در داخل دستگاه آون قرار داده شد تا وزن خشک آنها نیز محاسبه گردد. بعد از وزن کردن مقدار ماده خشک بصورت درصد محاسبه گردید.

اندازه گیری شاخص سبزی‌نگی

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (SPAD) انجام گردید. بدین منظور در هر بوته ۳ قرائت از برگ‌های میانی گیاهان هر تکرار انجام شد. پس از میانگین‌گیری ۳ قرائت، عدد به دست آمده به عنوان شاخص کلروفیل هر تکرار در نظر گرفته شد.

اندازه گیری نشت الکترولیت

برای اندازه‌گیری نشت یونی میزان مساوی از برگ‌ها در هر تکرار جدا و بعد از شستشو با آب دوبار تقطیر جهت حذف آلودگی‌های احتمالی، درون لوله‌های آزمایش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل منتقل شده و جهت آماده‌سازی برای اندازه‌گیری EC اولیه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه روی شیکر قرار داده شدند. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها با دستگاه EC سنج دستی قرائت شد. در مرحله بعد، لوله‌های آزمایش حاوی نمونه به مدت دو ساعت درون اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند که بعد از خنک شدن لوله‌ها مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد نشت یونی با استفاده از فرمول زیر به دست آمد (شیفراو ۱۹۹۶).

اندازه گیری پایداری غشاء

شاخص پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌های برگ ارزیابی شد. برای این منظور ۰/۱ گرم نمونه برگی به صورت قطعاتی با اندازه‌های یکسان بریده شدند و در لوله‌های آزمایش محتوای ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در آب ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت دیدند و EC آن اندازه‌گیری شد. بار دیگر نمونه‌ها در آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت دیدند و EC نیز اندازه‌گیری شده و شاخص پایداری غشاء برحسب درصد با رابطه زیر تعیین شد (سایرام ۱۹۹۷).

$$\text{Membrane Stability index (MSI)} = [1 - \text{EC1} / \text{EC2}] \times 100$$

اندازه گیری محتوای نسبی آب

برای اندازه‌گیری این شاخص، از هر گیاه یک برگ سالم تهیه شد و با ترازو وزن گردید (FW). سپس برگ‌ها در ظروف پتری دیش حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در یخچال ۲ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور گردیدند. برگ‌ها پس از این مدت از پتری خارج شده و با استفاده از کاغذ صافی خشک و دوباره توزین گردیدند تا وزن حالت تورژسانس کامل (TW) به دست آید. برای محاسبه وزن خشک (DW)، برگ‌ها داخل پاکت قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار داده شدند و سپس وزن گردیدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد (ریتچی ۱۹۹۰).

اندازه گیری عناصر

محتوای سدیم، پتاسیم با روش هضم مرطوب ارزیابی شد. ۴۰ روز پس از تیمار شوری، از برگ‌های توسعه‌یافته نمونه‌برداری شد و با آب مقطر و شستو داده شد، سپس در دمای ۵۵-۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و آسیاب شد. پتاسیم، سدیم پس از هضم مرطوب با استفاده از مخلوط اسید نیتریک-اسید کلریدریک (4:1) (V/V) هضم گردید. سدیم و پتاسیم با استفاده از فیلم فتومتر (Jenway, PFP7, Germany) اندازه گیری شد (امامی ۱۹۹۶).

پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها این آزمایش با استفاده از نرم افزار آماری MSTATC (Ver, 2.1) انجام گردید و آزمون LSD در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام گرفت. آنالیز همبستگی پیرسون، تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار RStudio ver. 4.2.1 (URL <https://cran.um.ac.ir/>) جداول و نمودارها با مجموعه نرم‌افزارهای (۲۰۲۱) Office ترسیم گردید.

نتایج و بحث

اثر متقابل رقم و شوری مطابق با نتایج تجزیه واریانس بر روی صفات تعداد برگ، طول و قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه و وزن تر ریشه، محتوای نسبی آب، شاخص پایداری غشاء، نشت الکترولیت، شاخص کلروفیل، غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم در برگ و ریشه در سطح احتمال ۱٪ و بر صفت وزن

خشک ریشه در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد (جدول ۴ و ۵ و ۶).

تعداد برگ

افزایش تنش شوری در تمامی ارقام منجر به کاهش تعداد برگ شد. بیشترین تعداد در قصر شیرین (۵۸/۶۷) بدون اعمال تنش و کمترین در کالک سردشت (۷) با بالاترین سطح تنش مشاهده شد. در بین ارقام، گرکه متحمل ترین و کالک سردشت حساس ترین رقم به تنش شوری بود (شکل ۱a). کاهش برگ های گیاه در اثر شوری را بسیاری از پژوهشگران به فرآیند محدود شدن توسعه برگ ها که ناشی از کاهش رشد در اثر تنش

شوری بوده، ارتباط می دهند. تنش اسمزی ناشی از اختلاف فشار اسمزی بین املاح شور در خارج از سلول و املاح داخلی در داخل سلول ریشه است. اثرات اسمزی تنش شوری باعث ایجاد پلاسمولیز، مهار انبساط سلول و مرگ سلول در ریشه، ساقه و برگ های جوان و باعث بسته شدن روزنه ها می شود (کیلکوسکا ۲۰۱۷ a,b). اثر تنش اسمزی در مهار سریع گسترش برگ های جوان، کاهش تولید برگ های جدید و کاهش هدایت روزنه های آشکار شده است (کیلکوسکا ۲۰۱۹). نتایج حاضر با یافته های کومار و همکاران (۲۰۲۱) در گونه *Oenanthe javanica* تحت تنش شوری مطابقت دارد.

جدول ۴- تجزیه واریانس برخی شاخص های مورفولوژیکی در ۱۰ توده بومی خربزه تحت تنش شوری

میانگین مربعات								منابع تغییر
وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	قطر ساقه	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	درجه آزادی	
۵۸/۴۹۸**	۷۳۴/۰۰۲**	۴۷۱/۳۱۷**	۳۷۳۰۸۹/۶۹۹**	۱۴۴/۹۷۳**	۳۵۹۶۰/۷۶۷**	۷۲۳۲/۷۷۸**	۳	تنش شوری
۵/۵۰۲**	۷/۱۳۶**	۱۸/۸۹۵**	۵۸۱۱/۰۲۷**	۶/۴۳۸**	۱۱۵۶/۱۸۱**	۳۵۵/۹۸۵**	۹	توده بومی
۰/۱۵۶*	۹/۳۷۷**	۱۱/۱۵۶**	۹۴۰/۳۹۲**	۳/۲۵۴**	۴۲۵/۸۰۴**	۷۴/۸۲۷**	۲۷	تنش شوری × توده بومی
۰/۰۸۴	۰/۴۷۱	۰/۵۹۹	۷۳/۰۰۵	۰/۲۴۹	۱۶/۳۶۷	۲/۳۹۲	۸۰	خطا آزمایشی
۵/۴۵	۵/۸۴	۵/۶۵	۵/۶۵	۵/۱۰	۸/۲۶	۶/۷۶		ضریب تغییرات (%)

**، * به ترتیب معنی دار بودن در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ است

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی در ۱۰ توده بومی خربزه تحت تنش شوری

میانگین مربعات					منابع تغییر
محتوای نسبی آب	شاخص پایداری غشا	نشست الکترولیت	شاخص کلروفیل	درجه آزادی	
۲۳۸۹/۲۶۴**	۱۲۹۷۳/۲۱۶**	۴۵۷۱۸/۲۱۶**	۱۵۳۸/۱۶۸**	۳	تنش شوری
۸۹/۱۸۴**	۳۴۸/۵۵۷**	۱۴۹/۹۳۲**	۱۱۶/۲۲۶**	۹	توده بومی
۱۷/۵۰۳**	۲۰۴/۸۳۰**	۱۰۵/۱۷۰**	۴۸/۷۴۷**	۲۷	تنش شوری × توده بومی
۵/۶۲۳	۶/۳۱۴	۱۳/۸۰۷	۲/۱۵۰	۸۰	خطا آزمایشی
۹/۹۰	۶/۸۱	۶/۱۲	۳/۳۶		ضریب تغییرات (%)

** معنی دار بودن در سطح احتمال ۱٪ می باشد.

جدول ۶- تجزیه واریانس عناصر در ۱۰ توده بومی خربزه تحت تنش شوری

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
سدیم/ پتاسیم ریشه	سدیم/ پتاسیم برگ	پتاسیم ریشه	پتاسیم برگ	سدیم ریشه	سدیم برگ		
۴۱۹/۸۶۸**	۸۴۷/۲۵۱**	۸۰۰/۲۵۳**	۸۵۴/۱۰۳**	۱۷۶۱/۴۵۶**	۱۵۴۰/۳۳۷**	۳	تنش شوری
۱۷/۶۲۲**	۴۰/۸۴۱**	۳۵/۱۷۰**	۴۶/۹۶۲**	۲۴/۹۱۰**	۱۸/۱۶۳**	۹	توده بومی
۷/۰۸۵**	۲۱/۰۸۰**	۱۲/۸۲۱**	۱۰/۴۹۵**	۹/۶۷۵**	۶/۱۸۳**	۲۷	تنش شوری × توده بومی
۰/۷۳۵	۱/۱۲۸	۰/۵۲۰	۰/۷۸	۰/۴۴۴	۰/۵۵۸	۸۰	خط آزمایشی
۲۶/۴۸	۲۳/۲۱	۵/۰۷	۵/۵۵	۶/۳۴	۸/۲۷		ضریب تغییرات (%)

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪ می باشد.

طول بوته

در سطوح مختلف شوری بین ارقام از نظر ارتفاع گیاه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. مطابق با نتایج با افزایش تنش شوری ارتفاع گیاه کاهش یافت و بیشترین ارتفاع در رقم تخمه آتا (۱۳۷ سانتی‌متر) بدون اعمال تنش و کمترین در بالاترین سطح تنش رقم گرکه (۱۵ سانتی-متر) بدست آمد. متحمل‌ترین رقم گرکه و حساس‌ترین تخمه آتا بود (شکل ۱b). کاهش رشد گیاهان تحت آبیاری شور ممکن است به دلیل تجمع غلظت بالای کلرید سدیم در دیواره سلولی و سیتوپلاسم باشد که منجر به تأثیر منفی بر سرعت فتوسنتز، کربوهیدرات‌ها و هورمون‌های رشد می‌شود. به طور کلی، اثرات طولانی مدت تنش شوری در کاهش سرعت رشد و ارتفاع گیاه به دلیل تنش‌های اسمزی و یونی گزارش شده است. تنش شوری در طول رشد گیاه باعث کاهش فشار تورژسانس می‌شود که منجر به کاهش کشش دیواره و آستانه عملکرد برای رشد به ویژه در ساقه و برگ می‌شود. همچنین کاهش ارتفاع بدلیل کاهش فتوسنتز تحت تنش شوری می‌باشد و کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است (بیسنگانی و همکاران ۲۰۱۹). نتایج مشابه در گیاهان مختلف گزارش شده است (منرز و همکاران ۲۰۱۷، رهنشان و همکاران ۲۰۱۸، شاهین و همکاران ۲۰۱۸).

قطر ساقه

نتایج حاصل نشان داد در سطوح مختلف شوری بین ارقام از نظر قطر ساقه اختلاف معنی‌دار بود و با

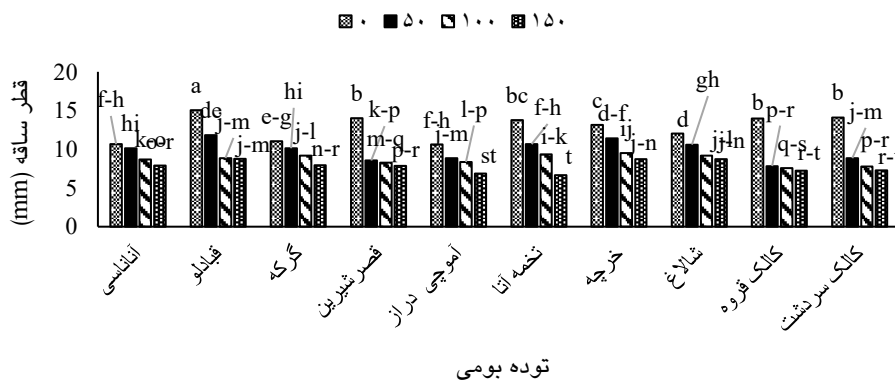
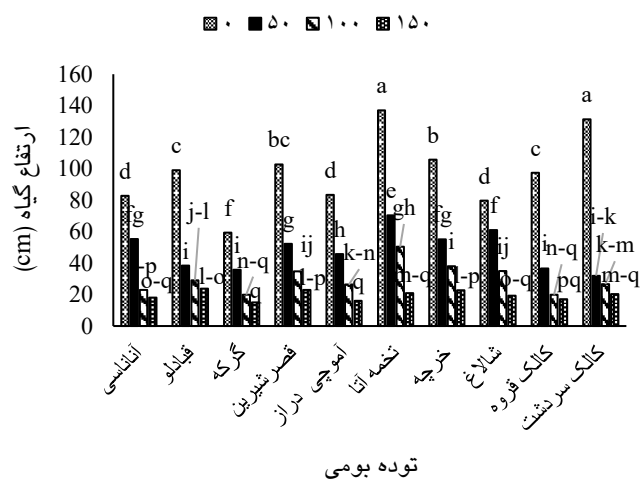
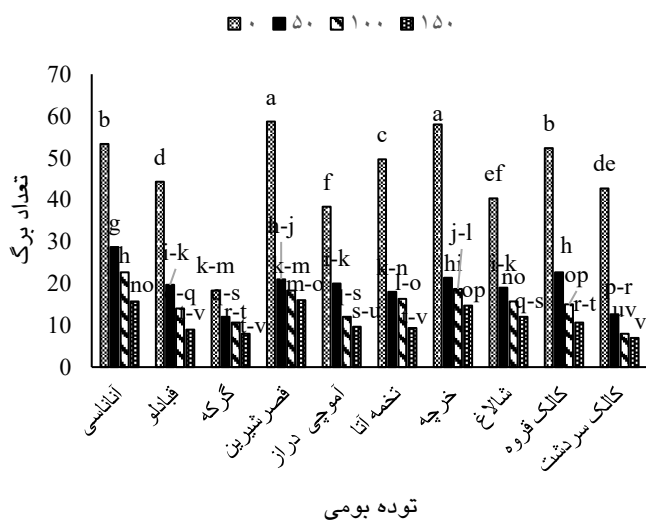
افزایش تنش قطر ساقه به طور قابل توجهی کاهش یافت. بیشترین قطر مربوط به رقم قبادلو (۱۵/۰۵ میلی‌متر) بدون اعمال تنش شوری و کمترین قطر در رقم تخمه آتا (۶/۶۷ میلی‌متر) در تیمار ۱۵۰ میلی مولار مشاهده شد. در بین ارقام محتمل‌ترین و حساس‌ترین رقم آناناسی و تخمه آتا به ترتیب بدست آمد (شکل ۱c). مطالعه حاضر نشان داد که شوری بر قطر ساقه تأثیر منفی می‌گذارد و ممکن است به کاهش پتانسیل اسمزی و محدودیت مواد مغذی نسبت داده شود. علاوه بر این، ابرار و همکاران (۲۰۲۰) در نتایج خود بیان کردند که افزایش شوری باعث کاهش قطر ساقه و رشد برگ شده و در نتیجه وزن، تعداد شاخه‌ها و برگ‌ها کمتر می‌شود. در مطالعات دیگر کاهش قطر ساقه تحت تیمارهای مختلف شوری را گزارش کردند که کاهش قطر ممکن است به کاهش پتانسیل تورژسانس نسبت داده شود (نعمت و همکاران ۲۰۱۹).

وزن تر و خشک شاخساره

نتایج حاصل از وزن تر و خشک شاخساره اختلاف معنی‌داری در سطوح مختلف شوری در ارقام خربزه نشان داد. بیشترین وزن تر شاخساره در رقم کالک سردشت (۳۴۶/۵ گرم) بدون اعمال تنش و کمترین در رقم تخمه آتا (۳۸/۴۷ گرم) در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار بود. بیشترین وزن خشک شاخساره در بدون تیمار شوری رقم تخمه آتا (۲۳/۱۶ درصد) و کمترین کالک سردشت (۵/۹۹ درصد) در بالاترین سطح تیمار بدست آمد. با افزایش تنش میزان وزن تر و خشک شاخساره

می‌گذارد که می‌تواند به عنوان نشانه‌ای برای تحمل به شوری در مراحل رشد اولیه گیاه پیشنهاد شود و غلظت بیش از حد سدیم برای رشد گیاه تخریب‌کننده در نظر گرفته می‌شود. این بدان معناست که تنش شوری مکانیسم‌های متابولیک را کند می‌کند و منجر به کاهش رشد و در نتیجه کاهش زیست توده می‌شود (ابرار و همکاران ۲۰۲۰).

کاهش یافت. محتمل‌ترین رقم شالاغ و حساس‌ترین رقم کالک سردشت برای صفات وزن تر و خشک شاخساره بدست آمد (جدول ۷). شوری باعث کاهش تولید و رشد زیست توده در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود و گیاهانی که قادر به تولید ماده خشک اضافی هستند، می‌توانند برای مدت طولانی‌تری در شرایط شور زنده بمانند (ایشیکاوا و شابالا ۲۰۱۹). بر خلاف شرایط غیر شور، شوری بر وزن تر و خشک ساقه تأثیر منفی



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات تعداد برگ (a)، ارتفاع ساقه (b) و قطر ساقه (c) در توده بومی‌ها خربزه تحت تنش شوری با سطوح ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم. حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری ندارند

خرچه (۶/۸۳ گرم) در تیمار ۱۵۰ میلی مولار بود. بیشترین وزن خشک در ریشه بدون تیمار شوری رقم شالاغ (۸/۴۲ درصد) و کمترین میزان در رقم تخمه آتا (۲/۷۳ درصد) در بالاترین سطح تیمار بدست آمد. افزایش تنش شوری منجر به کاهش وزن تر و خشک ریشه شد

وزن تر و خشک ریشه

نتایج نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطوح مختلف شوری از نظر وزن تر و خشک ریشه در ارقام خربزه بود. بیشترین وزن تر ریشه مربوط به رقم تخمه آتا (۲۳/۶۰ گرم) بدون اعمال شوری و کمترین رقم

افزایش تنش اسمزی می شود که مانع از جذب و انتقال آب می شود. این مهار منجر به واکنش های متوالی ناشی از هورمون ها می شود که می تواند باز شدن روزنه، جذب CO_2 و سرعت فتوسنتز را کاهش دهد (منرز و همکاران ۲۰۱۷ و سارکر و اوبا ۲۰۲۰). سئدا و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که شوری وزن تر و خشک ریشه گیاه روغنی را کاهش داد.

و متحمل ترین و حساس ترین رقم شالاغ و کالک سردشت به ترتیب در هر دو صفت وزن تر و خشک ریشه مشاهده شد (جدول ۷). مطالعات قبلی روی گیاهان مختلف کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی را تحت تنش شوری نشان داد (کاپور و پانده ۲۰۱۵ و کومار و همکاران ۲۰۲۱). به گفته مریم و همکاران (۲۰۱۴)، کاهش بیشتری در بیوماس در ارقام حساس نسبت به رقم متحمل تحت تیمارهای مختلف شوری مشاهده شد. شوری باعث

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات شوری در توده بومی وزن تر و خشک ساقه و ریشه

شوری (mM)				توده بومی	ویژگی
۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰		
۴۲/۲۳ r	۸۵/۴۰ mn	۱۱۰ jk	۲۷۱/۶ f	آناناسی	وزن تر ساقه (g)
۷۸/۷ no	۱۱۳ jk	۱۴۷/۷ hi	۳۰۹/۲ cd	قبادلو	
۸۵/۶۰ mn	۱۴۵/۶ hi	۱۵۶/۸ gh	۳۳۳/۵ ab	گرکه	
۵۱/۲۰ qr	۷۴/۷۳ n-p	۸۴/۵۰ mn	۲۹۶/۴ de	قصرشیرین	
۶۵/۲۰ op	۱۳۴/۴ i	۱۵۹ gh	۳۳۴/۳ ab	آموچی دراز	
۳۸/۴۷ r	۶۴/۱۰ pq	۷۳/۵۷ n-p	۲۸۶/۷ e	تخمه آتا	
۸۰/۴۳ n	۹۶/۰۳ lm	۱۵۱ gh	۳۲۲/۵ bc	خرچه	
۷۸/۴۷ no	۸۵/۴۷ mn	۱۱۸/۵ j	۲۸۴/۱ ef	شالاغ	
۴۹/۶۰ r	۱۰۴/۴ kl	۱۶۴/۱ g	۳۴۲/۹ a	کالک قروه	
۴۱/۳۰ r	۸۳/۸۰ mn	۱۶۱/۹ g	۳۴۶/۵ a	کالک سردشت	
۹/۶۹۰ qr	۱۲/۳۶ l-n	۱۳/۳۶ j-l	۲۰/۴۰ b	آناناسی	وزن خشک ساقه (%)
۸/۲۰۱ s	۱۱/۱۱ n-p	۱۸/۰۵ de	۱۸/۷۳ cd	قبادلو	
۹/۱۳۴ q-s	۱۰/۰۳ pq	۱۴/۴۳ h-j	۱۵/۰۷ g-i	گرکه	
۹/۸۶۴ p-r	۱۱/۴۱ no	۱۶/۱۲ fg	۱۶/۹۰ ef	قصرشیرین	
۹/۲۳۷ q-s	۱۱/۳۹ no	۱۲/۳۷ l-n	۱۵/۲۴ gh	آموچی دراز	
۱۰/۲۱ o-q	۱۳/۹۵ i-k	۱۵/۸۴ fg	۲۳/۱۶ a	تخمه آتا	
۱۱/۴۶ no	۱۲/۲۱ l-n	۱۳/۲۰ j-m	۲۳/۱۲ a	خرچه	
۱۲/۱۸ l-n	۱۲/۷۶ k-m	۱۵/۹۵ fg	۱۷/۸۴ de	شالاغ	
۸/۷۰۵ rs	۱۱/۹۸ mmn	۱۳/۲۸ j-l	۱۵/۶۱ gh	کالک قروه	
۵/۹۹۶ t	۹/۸۰۷ qr	۱۷/۷۱ de	۱۹/۳۵ bc	کالک سردشت	
۸/۸۶ l-p	۹/۴۶ i-m	۱۰/۲۳ g-j	۱۶/۱۰ e	آناناسی	وزن تر ریشه (g)
۹/۳۰ j-m	۱۰/۴۷ g-i	۱۰/۷۰ f-h	۲۱/۱۳ b	قبادلو	
۸/۹۰ l-p	۹/۵۶ i-l	۱۰/۸۳ f-h	۱۶/۵۳ e	گرکه	
۸/۴۰ m-q	۹/۳۳ j-m	۱۱/۲۰ fg	۱۶/۶۳ de	قصرشیرین	
۸/۱۳ n-q	۸/۳۶ m-q	۹/۱۰ k-o	۲۰/۷۷ b	آموچی دراز	
۸/۰۶ o-q	۹/۲۰ j-n	۹/۳۶ i-m	۲۳/۶۰ a	تخمه آتا	
۶/۸۳ r	۷/۷۰ qr	۷/۵۶ qr	۱۸/۸۷ c	خرچه	
۹/۴۶ i-m	۱۰/۱۰ g-k	۱۱ f-h	۱۶/۲۰ e	شالاغ	
۹/۵۳ i-l	۱۰/۰۳ h-k	۱۱/۶۰ f	۱۷/۷۳ d	کالک قروه	
۷/۸۰ p-r	۸/۶۰ l-q	۹/۲۳ j-n	۲۳/۵۳ a	کالک سردشت	
۳/۸۵ s	۵/۲۲ m-p	۵/۹۲ g-i	۶/۷۶ de	آناناسی	

۲/۹۲ vw	۴/۴۸ r	۵/۵۴ i-m	۵/۷۴ h-l	قبادلو	
۳/۲۵ t-v	۴/۷۱ qr	۵/۳۶ j-n	۶/۲۳ fg	گرکه	
۳/۵۷ s-u	۵/۷۹ g-j	۶/۴۴ ef	۷/۲۳ b-d	قصرشیرین	
۳/۷۰ st	۵/۲۷ l-p	۶/۵۴ ef	۷/۲۸ bc	آموچی دراز	
۲/۷۳ w	۴/۹۰ n-r	۵/۳۲ k-o	۵/۷۸ g-k	تخمه آتا	وزن خشک ریشه (%)
۳/۰۷ vw	۴/۹۶ n-q	۵/۴۷ i-m	۶/۰۷ f-h	خرچه	
۴/۸۶ o-r	۶/۷۸ de	۷/۵۶ b	۸/۴۲ a	شالاغ	
۳/۳۲ t-v	۴/۹۷ n-q	۵/۷۷ g-k	۶/۴۷ ef	کالک قروه	
۳/۱۵ u-w	۴/۸۴ p-r	۵/۵۶ i-m	۷/۰۵ cd	کالک سردشت	

حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی دار ندارد.

شاخص کلروفیل

در تمامی ارقام تنش شوری میزان شاخص کلروفیل را کاهش داد. بیشترین میزان در رقم کالک سردشت (۶۹/۳) و بدون اعمال تنش شوری مشاهده شد و کمترین میزان مربوط به رقم آموچی دراز (۳۱/۵۷) تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار بود. نتایج نشان داد که در ارقام مطالعه شده اختلاف معنی دار در شاخص کلروفیل تحت تنش شوری مشاهده گردید. متحمل ترین رقم آموچی شالاغ و حساس ترین رقم کالک سردشت بود (شکل ۲a). شوری باعث افزایش ضخامت برگ و در نتیجه افزایش مقدار کلروفیل در واحد سطح می شود، ولی با افزایش غلظت نمک به مقدار بیشتر، عدد کلروفیل سنچ کاهش می یابد که این امر نشان دهنده تخریب کلروپلاست در سطوح زیاد شوری است (جی انگ و همکاران ۲۰۱۷). تنش اسمزی ناشی از تنش شوری می تواند منجر به کاهش چشمگیر سلول های روزنه شود که باعث کاهش ظرفیت فتوسنتزی می گردد. بنابراین در بسیاری از گیاهان، مهار رشد ارتباط نزدیکی با کاهش فتوسنتز تحت تنش شوری دارد (دی او و همکاران ۲۰۱۴ و جی انگ و همکاران ۲۰۱۶).

محتوای نسبی آب

تنش شوری در تمام ارقام خربزه محتوای نسبی آب را کاهش داد. بیشترین مقدار در رقم کالک قروه (۹۶/۳۲٪) بدون اعمال تنش و کمترین در رقم تخمه آتا (۶۵/۲۸٪) در بالاترین سطح تنش بدست آمد. نتایج نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطوح مختلف شوری در تمامی ارقام از نظر محتوای نسبی آب بود و بین ارقام رقم شالاغ متحمل ترین و رقم تخمه آتا حساس ترین بدست آمد (شکل ۲b). بدون شک محتوای نسبی

آب یکی از اولین خصوصیات گیاهی است که تحت تأثیر تنش شوری قرار دارد، زیرا تنش آب غالباً هنگامی که گیاه در معرض غلظت بالای شوری در محلول خاک قرار می گیرد رخ می دهد (اکرمی و ارزانی ۲۰۱۸). به خوبی ثابت شده است در شرایط تنش شوری، توانایی گونه های گیاهی در جذب آب کاهش می یابد و این منجر به کاهش رشد سریع و بهره وری گیاه می شود (ایزدی داربندی و مهدیخانی ۲۰۱۸ و ماهوچی ۲۰۱۸).

شاخص پایداری غشا

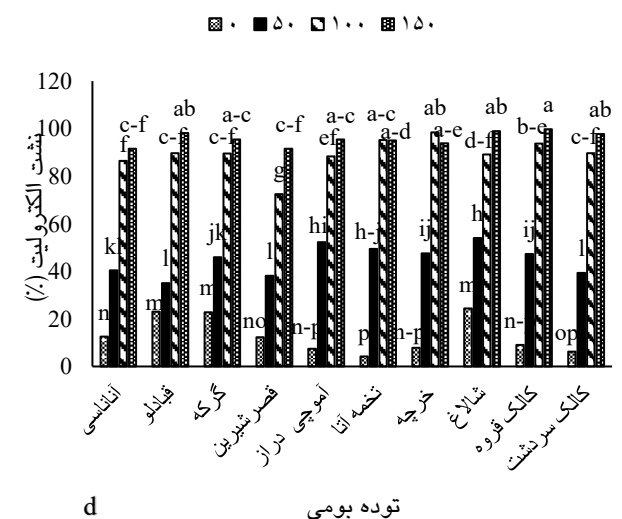
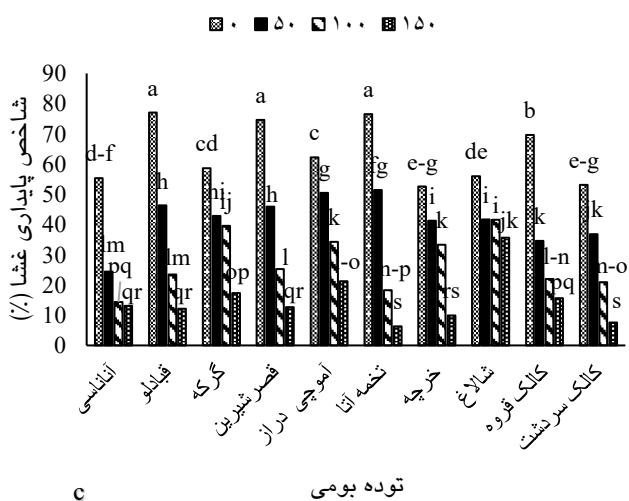
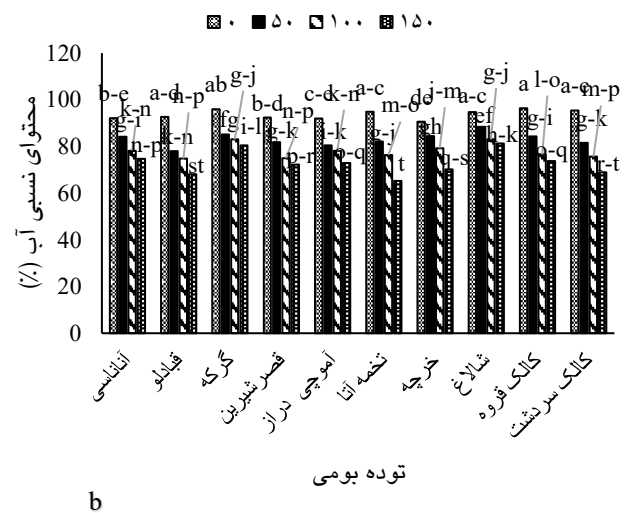
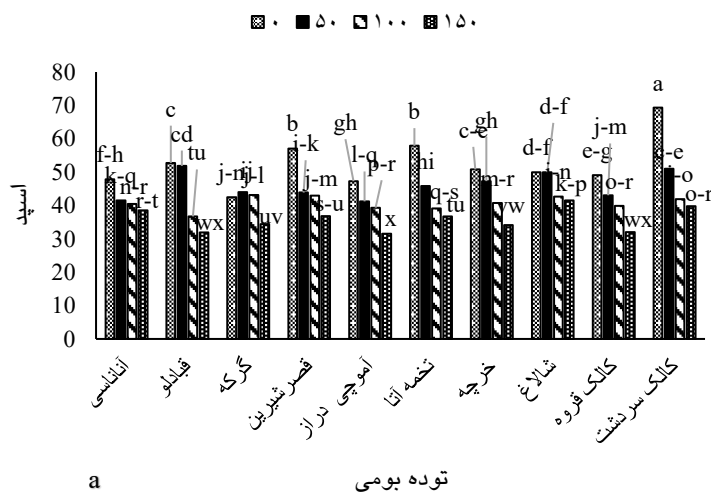
نتایج حاصل از پژوهش نشان داد شاخص پایداری غشا در سطوح مختلف شوری اختلاف معنی دار بین ارقام خربزه نشان داد و با افزایش تنش شوری شاخص پایداری غشا کاهش یافت. بیشترین میزان در رقم قبادلو (۷۷/۰۲٪) بدون اعمال تنش و کمترین در رقم تخمه آتا (۶/۳۳٪) در بالاترین سطح شوری بدست آمد. متحمل ترین و حساس ترین رقم شالاغ و تخمه آتا به ترتیب مشاهده شد (شکل ۲c). یکپارچگی یا پایداری غشای سلولی تحت تأثیر تنش های محیطی شوری را می توان از طریق اندازه گیری نشت الکترولیت نمونه های برگ تخمین زد. اکرمی و ارزانی (۲۰۱۸) قبلاً گزارش کرده بودند که حفظ یکپارچگی غشای سلولی قوانین بسیار مهمی در تحمل به شوری دارد. در این مطالعه، زمانی که گیاهان تحت تنش شوری قرار گرفتند، پایداری غشا کاهش یافت. این یافته ها توسط چندین محقق دیگر تأیید شده اند (تیواری و همکاران ۲۰۱۰ و رضایی و همکاران ۲۰۱۷) و اولاً نشان می دهند که تنش شوری منجر به افزایش قابل توجهی در نشت الکترولیت سلولی می شود و ثانیاً انتخاب توده بومی هایی با

متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام به ترتیب شالاغ و تخمه آتا بود (شکل ۲d). تنش اکسیداتیو ناشی از شوری موجب پراکسیداسیون چربی غشا و از بین رفتن خاصیت انتخاب‌پذیری آن شده و در نتیجه نفوذ پذیری غشای سلولی برای یون‌ها و الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد (شفیعی و همکاران ۲۰۱۹). نشت الکترولیت می‌تواند به عنوان یک شاخص آسیب مفید برای تشخیص میزان آسیب در غشای سلولی در شرایط تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد، که محل اولیه آسیب خاص یون به دلیل شوری است (هنلیکوا و همکاران ۲۰۱۹).

پایداری غشا برگ برتر ممکن است منجر به بهبود تحمل به شوری در گیاهان زراعی شود.

نشت یونی

در تمامی ارقام خربزه تنش شوری منجر به افزایش نشت یونی شد. نتایج حاصل از پژوهش اختلاف معنی‌دار بین ارقام خربزه در سطوح مختلف شوری نشان داد. بیشترین میزان نشت یونی در رقم کالک قروه در بالاترین سطح تنش شوری و کمترین در رقم تخمه آتا (۴/۱۹٪) بدون اعمال تنش بدست آمد.



شکل ۲- مقایسه میانگین صفات اسپد (SPAD) (a)، محتوای نسبی آب برگ (b)، پایداری غشا (c) و نشت الکترولیت (d) در توده بومی‌ها خربزه تحت تنش شوری با سطوح ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم (حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری ندارند).

نتایج نشان داد تنش شوری منجر به افزایش غلظت سدیم برگ و ریشه در تمامی ارقام شد. بیشترین میزان در رقم آناناسی (۱۲/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و قبادلو (۲۲/۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) با بالاترین سطح تنش و کمترین در رقم تخمه آتا (۰/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و خرچه (۱/۷۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بدون اعمال تنش بدست آمد. متحمل‌ترین رقم گرکه و حساس‌ترین تخمه آتا برای هر دو صفت بود (جدول ۷ و ۸). تنش شوری منجر به کاهش غلظت پتاسیم برگ و ریشه در تمامی ارقام شد. بیشترین غلظت در رقم قصر شیرین (۲۷/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و (۲۵/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) بدون اعمال تنش شوری و کمترین غلظت در کالک سردشت (۵/۰۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و تخمه آتا (۴/۸۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) با بالاترین میزان تنش بدست آمد. نتایج اختلاف معنی‌دار در سطوح مختلف شوری در ارقام خربزه نشان داد. متحمل‌ترین و حساس‌ترین غلظت پتاسیم در برگ ارقام شالاغ و سردشت و غلظت پتاسیم در ریشه ارقام شالاغ و تخمه آتا به ترتیب بدست آمد (جدول ۸ و ۹). بیشترین غلظت پتاسیم/سدیم برگ و ریشه در رقم تخمه آتا (۲۳/۳۲) و (۱۴/۴۲) در بدون اعمال شوری و کمترین در رقم کالک سردشت (۰/۲۵۲۰) و رقم تخمه آتا (۰/۲۱۸۰) بالاترین سطح تنش شوری مشاهده شد. با افزایش میزان تنش غلظت پتاسیم/سدیم کاهش یافت. متحمل‌ترین در برگ رقم گرکه و حساس‌ترین رقم کالک سردشت و در ریشه متحمل‌ترین رقم گرکه و حساس‌ترین رقم تخمه آتا بود (جدول ۸ و ۹).

پتاسیم نقش کلیدی در فرآیندهای گیاهی، مانند فعال سازی آنزیم، سنتز پروتئین، فتوسنتز، تنظیم اسمزی، و به طور مستقیم بر باز و بسته شدن روزنه ایفا می کند (سیلوا ۲۰۱۱). توانایی گیاه برای حفظ سطوح بالای پتاسیم در برابر سطوح پایین سدیم در بافت‌ها یکی دیگر از مکانیسم‌های تحمل نمک است. توده بومی‌های متحمل به نمک همچنین قادر به حفظ نسبت پتاسیم/سدیم بالا در بافت‌ها هستند (شیونگ و همکاران ۲۰۱۸) که در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد. به طور کلی، تیمار شوری غلظت

سدیم را در بافت گیاه افزایش داد. با این حال، تجمع سدیم در ریشه‌ها بیشتر از برگ‌ها بود، که نشان می‌دهد که گیاهان خربزه قادر به حذف سدیم از اندام‌های رشد خود هستند، که یک مکانیسم مهم برای تحمل نمک در خربزه است. تنش شوری مسئول تجمع بیش از حد سدیم با کاهش همزمان جذب عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم از ریشه تا برگ‌های فتوسنتزی است. همچنین گزارش شده است که تجمع سدیم و کاهش محتوای پتاسیم در برگ‌های فتوسنتزی ممکن است منجر به تخریب کلروفیل و اختلال در غشاهای تیلاکوئید شود. نتایج مشابه در گوجه‌فرنگی (کامانگا و همکاران ۲۰۲۰)، گندم (ایکورا و همکاران ۲۰۲۰)، ذرت (عزیزیان و سپاس-خواه ۲۰۲۰) گزارش گردید.

آنالیز همبستگی، تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای

نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که ارتفاع، قطر ساقه، وزن خشک شاخساره، وزن تر ریشه، تعداد برگ و SPAD با همدیگر همبستگی مثبت معنی‌داری نشان دادند، از طرف دیگر این صفات با سدیم برگ و ریشه همبستگی منفی معنی‌داری مشاهده نگردید، البته بین وزن تر ریشه و تعداد برگ هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید. براساس نتایج همبستگی می‌توان گفت که محتوای سدیم برگ و ریشه با غلظت پتاسیم در هر دو اندام مذکور همبستگی منفی معنی‌داری نشان دادند. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم مشاهده شد (شکل ۳a).

آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که حدود ۷۲/۳ درصد واریانس مشاهده شده به سه مولفه اصلی اختصاص یافته است. به‌طوریکه مولفه اول ۴۶.۲ درصد واریانس مشاهده شده را شامل شده که صفات ارتفاع، سدیم برگ و ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم برگ و ریشه و تا حدودی نشت الکترولیت و شاخص SPAD بیشترین تاثیر را در این مولفه داشته‌اند. مولفه اصلی دوم حدود ۱۳/۴ درصد واریانس اندازه‌گیری شده را موجب شده که صفات ثابت پایداری غشا و پتاسیم برگ بیشترین تاثیر را گذاشته‌اند و مولفه اصلی سوم

کالک سردشت، گروه سوم شامل توده بومی‌های کالک قروه، قبادلو و قصرشیرین و در نهایت در گروه چهارم توده بومی‌های خرچه، آناناسی و آموچی دراز قرار گرفتند (شکل ۳b).

۱۲/۷ درصد تغییرات را به خود اختصاص داده که صفات وزن‌تر شاخساره و محتوای رطوبت نسبی بیشترین اثر معنی‌دار را در این مولفه داشته‌اند (شکل ۳b).

براساس آنالیز تجزیه خوشه‌ای، ۱۰ توده بومی ارزیابی شده در این پژوهش تحت تنش شوری در ۴ گروه قرار گرفتند. گروه اول شامل توده بومی‌های گرکه و شالاغ، گروه دوم شامل توده بومی‌های تخمه آتا و

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات شوری در توده بومی عناصر در برگ

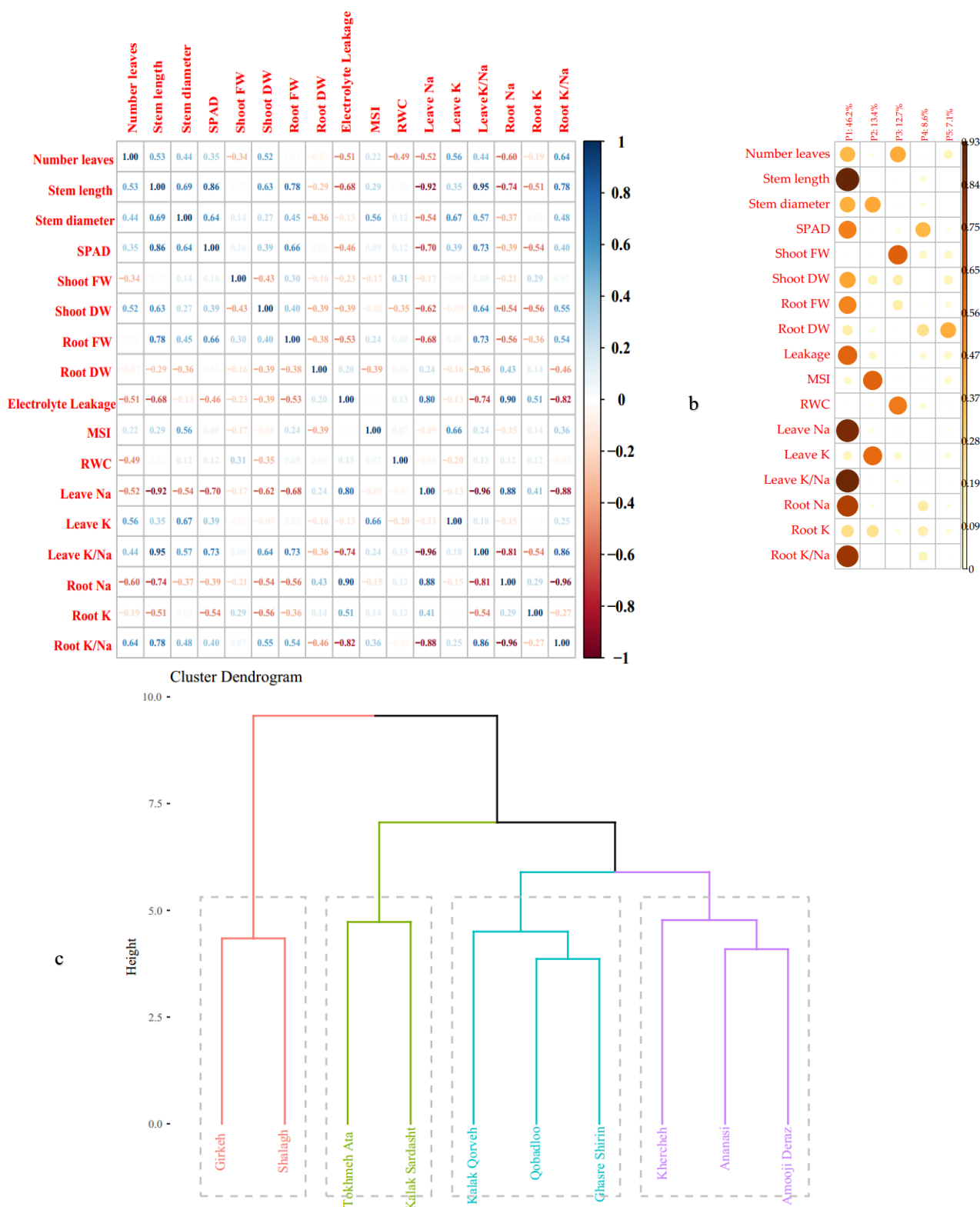
شوری (mM)				توده بومی	ویژگی
۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰		
۱۲/۷۵ a	۱۲/۶۰ g	۷/۶۳۱ lm	۲/۸۰۰ p-r	آناناسی	سدیم برگ (mg.g ⁻¹ DM)
۱۹/۴۹ bc	۱۱/۱۴ hi	۷/۷۰۲ lm	۲/۶۸۸ p-r	قبادلو	
۱۷/۱۶ ef	۹/۹۳۶ ij	۷/۷۱۱ lm	۳/۲۴۴ pq	گرکه	
۱۹/۱۷ b-d	۹/۲۲۷ jk	۴/۵۳۳ o	۲/۲۲۵ q-t	قصرشیرین	
۱۶/۲۴ f	۱۲/۱۷ gh	۶/۲۳۳ n	۲/۴۳۴ q-t	آموچی دراز	
۱۸/۵۸ cd	۹/۱۷۳ jk	۲/۶۰۰ p-s	۰/۹۴۰ u	تخمه آتا	
۱۹/۳۴ b-d	۶/۶۹۳ mn	۳/۳۰۰ pq	۱/۴۰۷ s-u	خرچه	
۱۸/۱۸ de	۱۱/۷۶ gh	۷/۶۷۳ lm	۲/۶۱۴ p-s	شالاغ	
۱۶/۲۶ f	۸/۸۳۳ j-l	۳/۷۲۷ op	۱/۸۴۳ r-u	کالک قروه	
۲۰/۲۱ b	۸/۲۷۳ kl	۲/۵۹۳ p-s	۱/۲۳۲ tu	کالک سردشت	
۹/۸۳۴ t	۱۳/۲۴ n-q	۱۷/۰۹ ij	۲۱/۶۳ de	آناناسی	پتاسیم برگ (mg.g ⁻¹ DM)
۱۱/۹۰ rs	۱۲/۷۵ p-s	۱۵/۰۸ kl	۲۴/۸۶ b	قبادلو	
۱۲/۰۳ q-s	۱۵/۲۰ kl	۱۸/۰۴ i	۱۹/۷۰ fg	گرکه	
۱۳/۵۳ m-p	۱۵/۲۳ kl	۲۴/۱۶ b	۲۷/۴۸ a	قصرشیرین	
۱۰/۰۸ t	۱۳/۲۹ n-r	۱۷/۶۴ i	۲۱/۱۰ d-f	آموچی دراز	
۵/۹۲۴ v	۱۱/۷۰ s	۱۸/۲۳ hi	۲۱/۷۶ de	تخمه آتا	
۹/۸۷۰ t	۱۳/۱۹ o-r	۱۹/۵۱ gh	۲۱/۲۲ de	خرچه	
۱۲/۱۶ p-s	۱۴/۳۸ l-o	۱۵/۹۹ jk	۱۹/۷۰ fg	شالاغ	
۱۲/۶۰ p-s	۱۴/۶۷ k-n	۲۰/۶۲ e-g	۲۳/۶۵ bc	کالک قروه	
۵/۰۹۹ v	۷/۹۴ u	۱۴/۹۱ k-m	۲۲/۴۷ cd	کالک سردشت	
۰/۴۵۴۰ no	۱/۰۵۹ l-o	۲/۲۵۶ k-m	۷/۷۲۰ e-g	آناناسی	سدیم/پتاسیم برگ (mg.g ⁻¹ DM)
۰/۶۱۳۳ m-o	۱/۱۵۶ k-o	۱/۹۶۷ k-o	۹/۳۱۳ e	قبادلو	
۰/۷۰۳۰ l-o	۱/۵۳۰ k-o	۲/۳۴۸ kl	۶/۰۸۲ g-j	گرکه	
۰/۷۰۶۷ l-o	۱/۶۵۳ k-o	۵/۳۴۶ j	۱۲/۴۸ d	قصرشیرین	
۰/۶۲۳۰ l-o	۱/۰۹۴ l-o	۲/۸۲۵ k	۸/۸۳۵ ef	آموچی دراز	
۰/۳۱۹۰ o	۱/۳۱۲ k-o	۷/۰۸۲ g-i	۲۳/۳۲ a	تخمه آتا	
۰/۵۱۰۰ no	۱/۹۷۵ k-o	۶/۲۲۳ g-j	۱۵/۲۸ c	خرچه	
۰/۶۶۸۷ l-o	۱/۲۳۳ k-o	۲/۰۹۰ k-n	۷/۵۳۰ f-h	شالاغ	
۰/۷۷۷۷ l-o	۱/۶۶۳ k-o	۵/۶۷۵ ij	۱۲/۸۷ d	کالک قروه	
۰/۲۵۲۰ o	۰/۹۷۳۰ l-o	۵/۹۶۸ h-j	۱۸/۶۰ b	کالک سردشت	

حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار ندارد.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات شوری در توده بومی عناصر در ریشه

شوری (میلی مولار)				توده بومی	ویژگی	
۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰			
۲۱/۷۱ a-c	۱۴/۲۰ f	۹/۸۶۵ h	۲/۹۱۲ n-p	آناناسی	سدیم ریشه (mg.g ⁻¹ DM)	
۲۲/۵۷ a	۱۵/۸۱ e	۸/۹۴۶ hi	۳/۱۷۷ m-o	قبادلو		
۱۷/۴۱ d	۱۱/۰۱ g	۸/۲۷۳ ij	۳/۷۹۴ mn	گرکه		
۲۱/۷۶ a-c	۱۱/۶۲ g	۶/۸۳۶ k	۲/۹۰۴ n-p	قصرشیرین		
۱۸/۳۹ d	۱۳/۵۱ f	۸/۱۱۲ ij	۲/۴۹۵ o-q	آموچی دراز		
۲۲/۲۸ ab	۹/۹۱۷ h	۲/۹۱۴ n-p	۱/۵۴۱ q	تخمه آتا		
۲۰/۷۱ c	۷/۱۹۶ jk	۵/۱۰۱ l	۱/۷۱۸ q	خرچه		
۲۱c	۱۱/۷۱ g	۹/۶۷۱ h	۳/۷۱۳ mn	شالاغ		
۱۷/۴۸ d	۹/۷۸۴ h	۴/۰۸۱ lm	۱/۹۲۶ pq	کالک قره		
۲۱/۲۳ bc	۱۵/۴۳ e	۴/۹۳۴ l	۲/۳۳۰ o-q	کالک سردشت		
۵/۵۲۰ u	۱۰/۸۲ q	۱۵/۶۱ h	۲۰/۵۲ cd	آناناسی		پتاسیم ریشه (mg.g ⁻¹ DM)
۱۱/۱۳ pq	۱۱/۹۵ o-q	۱۳/۸۷ j-l	۲۲/۲۶ b	قبادلو		
۸/۸۶۵ r	۱۲/۱۷ n-p	۱۳/۶۰ k-m	۱۵/۰۷ hi	گرکه		
۷/۰۲۵ t	۱۴/۳۲ i-k	۱۹/۳۲ ef	۲۵/۰۲ a	قصرشیرین		
۹/۶۰۴ r	۱۱/۷۹ o-q	۱۳/۶۳ k-m	۱۹/۹۸ c-e	آموچی دراز		
۴/۸۱۴ u	۱۱/۷۳ o-q	۱۷/۵۴ g	۲۰/۹۸ c	تخمه آتا		
۸/۴۳۶ rs	۱۲/۸۹ l-o	۱۸/۱۶ fg	۱۹/۷۲ de	خرچه		
۱۱/۱۹ pq	۱۳/۷۶ kl	۱۴/۹۵ h-j	۱۸/۲۵ fg	شالاغ		
۱۲/۵۶ m-o	۱۳/۸۷ j-l	۱۹/۱۹ ef	۲۲/۷۱ b	کالک قره		
۵/۰۴۶ u	۷/۴۴۲ st	۱۳/۲۰ k-n	۲۰/۰۸ c-e	کالک سردشت		
۰/۲۵۵۷ mn	۰/۷۶۲۷ k-n	۱/۵۸۳ i-n	۷/۰۴۶ de	آناناسی	سدیم/پتاسیم ریشه (mg.g ⁻¹ DM)	
۰/۴۹۳۷ k-n	۰/۷۵۶۳ k-n	۱/۵۵۹ i-n	۷/۰۵۱ de	قبادلو		
۰/۵۰۹۳ k-n	۱/۱۱۱ k-n	۱/۶۴۷ i-m	۳/۹۸۳ gh	گرکه		
۰/۳۲۳۰ l-n	۱/۲۴۱ k-n	۲/۸۳۳ hi	۸/۶۲۰ c	قصرشیرین		
۰/۵۲۲۷ k-n	۰/۸۷۴۷ k-n	۱/۶۸۶ i-l	۸/۱۵۳ cd	آموچی دراز		
۰/۲۱۸۰ n	۱/۱۸۸ k-n	۶/۰۲۰ ef	۱۴/۴۲ a	تخمه آتا		
۰/۴۰۷۰ k-n	۱/۷۹۵ i-k	۳/۵۸۳ gh	۱۱/۵۴ b	خرچه		
۰/۵۳۴۷ k-n	۱/۱۷۷ k-n	۱/۵۴۷ i-n	۴/۹۱۳ fg	شالاغ		
۰/۷۱۸۳ k-n	۱/۴۱۹ j-n	۴/۸۳۹ fg	۱۱/۸۰ b	کالک قره		
۰/۲۴۰۷ n	۰/۴۸۱۰ k-n	۲/۷۱۲ h-j	۸/۹۱۰ c	کالک سردشت		

حروف مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی دار ندارد.



شکل ۳- هیت میپ آنالیز همبستگی صفات ارزیابی شده (a)، تجزیه به مولفه‌های اصلی و نقش صفات مطالعه شده (b) و تجزیه خوشه‌ای ۱۰ توده بومی ارزیابی شده

نتیجه‌گیری

مفید مقاوم در برابر تنش شوری برای برنامه های ژنتیکی و اصلاحی خربزه در نظر گرفته شوند.

سپاسگزاری

از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه (شاعا) به دلیل همکاری صمیمانه در این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

در مطالعه حاضر ما به بررسی واکنش‌های رشدی و فیزیولوژیکی در ده توده بومی خربزه تحت تنش شوری پرداختیم. براساس نتایج شوری تغییرات متنوعی را در بین توده بومی‌ها ایجاد کرد. با در نظر گرفتن نتایج، شالاغ و گرکه متحمل‌ترین و تخمه آتا و کالک سردشت حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش شوری شناخته شد. از این رو، شالاغ و گرکه احتمالا می‌توانند به عنوان یک منبع

منابع مورد استفاده

- Abrar MM, Saqib M, Abbas G, Atiq-ur-Rahman M, Mustafa A, Shah SA A, and Minggang X. 2020. Evaluating the contribution of growth, physiological, and ionic components towards salinity and drought stress tolerance in *Jatropha curcas*. *Plants*, 9: 1574. <https://doi.org/10.3390/plants9111574>
- Akrami M and Arzani A. 2018. Physiological alterations due to field salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2657-0>
- Arif Y, Singh P, Siddiqui H, Bajguz A, and Hayat S. 2020. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156: 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>
- Arzani A and Ashraf M. 2016. Smart engineering of genetic resources for enhanced salinity tolerance in crop plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 35:146–189. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1245056>
- Azizian A and Sepaskhah AR. 2020. Maize response to water, salinity and nitrogen levels: soil and plant ions accumulation. *Iran Agricultural Research*. 39(1): 1-12.
- Bistgani ZE, Hashemi M, DaCosta M, Craker L, Maggi F, and Morshedloo M R. 2019. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 135: 311-320. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055>
- da Silva, FHA, de Morais PLD, da Silva Dias N, de Sousa Nunes GH, de Morais MB, Melo M F and de Albuquerque Nascimento, MT. 2021. Physiological aspects of melon (*Cucumis melo* L.) as a function of salinity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40: 1298-1314. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10190-5>
- Damianos N and Savvas D. 2016. NaCl accumulation and macronutrient uptake by a melon crop in a closed hydroponic system in relation to water uptake. *Agricultural Water Management*, 165: 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.013>
- Diao M, Ma L, Wang J, Cui J, Fu A, and Liu HY. 2014. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(3): 671-682. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9416-2>
- Ekincialp A. 2019. The Differences among Melon Genotypes and Varieties under Salt Stress Based on Certain Morphological and Physiological Properties: Mixture Modeling and Principal Component Analysis (PCA). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2): 2965-2981. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_29652981
- Emmami, A. 1996. Plant analysis methods. vol. 182. Technical publication. Soil and Water Research Institute of Iran. 45p. (In Persian with English Abstract).

- Erdinc C, Inal B, Erez E, Ekincialp A, and Sensoy S. 2021. Comparative adaptation responses of melon (*Cucumis melo* L.) genotypes to salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(2): 403-418.
- Estaji A, Roosta HR, Rezaei SA, Hosseini SS and Niknam F. 2018. Morphological, physiological and phytochemical response of different *Satureja hortensis* L. Accessions to salinity in a greenhouse experiment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.04.005>
- FAO. 2021. FAOSTAT Agricultural Database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Hniličková H, Hnilička F, Orsák M and Hejnák V. 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. *Plant Soil Environment*, 65 (2): 90-96. <https://doi.org/10.17221/620/2018-PSE>
- Iqra L, Rashid MS, Ali Q, Latif I and Malik A. 2020. Evaluation for Na⁺/K⁺ ratio under salt stress condition in wheat. *Life Science Journal*, 17: 43–47. <https://doi.org/10.7537/marslsj170720.07>
- Ishikawa T and Shabala S. 2019. Control of xylem Na⁺ loading and transport to the shoot in rice and barley as a determinant of differential salinity stress tolerance. *Physiologia Plantarum*, 165: 619–631. <https://doi.org/10.1111/ppl.12758>
- Izadi-Darbandi E and Mehdikhani H. 2018. Salinity effect on some of the morphophysiological traits of three *Plantago* species (*Plantago* spp.). *Scientia Horticulturae*, 236: 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.059>
- Jiang C, Cui Q, Feng K, Xu D, Li C and Zheng Q. 2016. Melatonin improves antioxidant capacity and ion homeostasis and enhances salt tolerance in maize seedlings. *Acta physiologiae plantarum*, 38(4): 82. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2101-2>
- Kamanga RM, Echigo K, Yodoya K, Mekawy AMM and Ueda A. 2020. Salinity acclimation ameliorates salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings by triggering a cascade of physiological processes in the leaves. *Scientia Horticulturae*, 270: 109434. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109434>
- Kapoor N and Pande V. 2015. Effect of salt stress on growth parameters, moisture content, relative water content and photosynthetic pigments of fenugreek variety RMt-1. *Journal of Plant Sciences*, 10: 210–221. <https://doi.org/10.3923/jps.2015.210.221>
- Khalvandi M, Ameriana M, Pirdashti H, Keramati S, Hosseini J. 2019. Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crop and Products*, 127: 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.072>
- Kiełkowska A. 2017a. Cytogenetic effect of prolonged in vitro exposure of *Allium cepa* L. root meristem cells to salt stress. *Cytology and Genetics*, 51(6): 478-484. <https://doi.org/10.3103/S0095452717060068>
- Kiełkowska A. 2017b. *Allium cepa* root meristem cells under osmotic (sorbitol) and salt (NaCl) stress in vitro. *Acta Botanica Croatica*, 76(2): 146-153. <https://doi.org/10.1515/botcro-2017-0009>
- Kiełkowska A, Grzebelus E, Lis-Krzyścin A and Maćkowska K. 2019. Application of the salt stress to the protoplast cultures of the carrot (*Daucus carota* L.) and evaluation of the response of regenerants to soil salinity. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 137(2): 379-395. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01578-7>
- Kumar S, Li G, Yang J, Huang X, Ji Q, Liu Z and Hou H. 2021. Effect of salt stress on growth, physiological parameters, and ionic concentration of water dropwort (*Oenanthe javanica*) cultivars. *Frontiers in plant science*, 12: 660409. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.660409>
- Mahouachi J. 2018. Long-term salt stress influence on vegetative growth and foliar nutrient changes in mango (*Mangifera indica* L.) seedlings. *Scientia Horticulturae*, 234: 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.028>

- Menezes RV, Azevedo Neto AD D, Ribeiro MDO and Cova AMW. 2017. Growth and contents of organic and inorganic solutes in amaranth under salt stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47: 22–30. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742580>
- Meriem BF, Kaouther Z, Chérif H, Tijani M, André B and Meriem BF. 2014. Effect of priming on growth, biochemical parameters and mineral composition of different cultivars of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under salt stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10: 84–109.
- Navada S, Vadstein O, Gaumet F, Tveten AK, Spanu C, Mikkelsen Ø, and Kolarevic J. 2020. Biofilms remember: osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. *Water Research*, 176, 115732. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115732>
- Niamat B, Naveed M, Ahmad Z, Yaseen M, Ditta A, Mustafa A, Rafique M, Bibi R, Sun N and Xu M. 2019. Calcium-Enriched Animal Manure Alleviates the Adverse Effects of Salt Stress on Growth, Physiology and Nutrients Homeostasis of *Zea mays* L. *Plants*, 8: 480. <https://doi.org/10.3390/plants8110480>
- Pan T, Liu M, Kreslavski VD, Zharmukhamedov SK, Nie C, Yu M, and Shabala S. 2021. Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(8), 791-825. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1735231>
- Percey WJ, Shabala L, Wu Q, Su N, Breadmore MC, Guijt RM, Bose J and Shabala S. 2016. Potassium retention in leaf mesophyll as an element of salinity tissue tolerance in halophytes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109: 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.10.011>
- Petropoulos SA, Levizou E, Ntatsi G, Fernandes A, Petrotos K, Akoumianakis K, Barros L and Ferreira ICFR. 2017. Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. *Food Chemistry*, 214: 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.080>
- Qadir M, Quillerou E and Nangia V. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38: 282–295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>
- Rahneshan Z, Nasibi F and Moghadam, AA. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13: 73–82. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1424355>
- Rezaei M, Arzani A, Saedi G and Karami M. 2017. Physiology of salinity tolerance in *Bromus danthoniae* genotypes originated from saline and non-saline areas of West Iran. *Crop and Pasture Science*, 68: 92–99. <https://doi.org/10.1071/CP16311>
- Ritchie SW, Nguyen HT and Holaday AS. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop science*, 30(1): 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Sairam RK, Shukla DS and Saxena DC. 1997. Stress induced injury and antioxidant enzymes in relation to drought tolerance in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 40(3): 357-364. <https://doi.org/10.1023/A:1001009812864>
- Sarabi B, Bolandnazar S, Ghaderi N and Ghashghaie J. 2017. Genotypic differences in physiological and biochemical responses to salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.) plants: Prospects for selection of salt tolerant landraces. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119: 294-311. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.006>
- Sarker U and Oba S. 2019. Salinity stress enhances color parameters, bioactive leaf pigments, vitamins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus* leafy vegetables. *Journal of Science Food Agriculture*, 99: 2275–2284. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9423>
- Shafiee H, Haghighi M and Farhadi A. 2018. Evaluation of Responses of Iranian Melon Cultivars to Salinity Stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(1): 51-63. (In Persian with English Abstract).

- Shaheen S, Naseer S, Ashraf M and Akram NA. 2013. Salt stress affects water relations, photosynthesis, and oxidative defense mechanisms in *Solanum melongena* L. *Journal Plant Interactions*, 8: 85–96. <https://doi.org/10.1080/17429145.2012.718376>
- Shiferaw B and Baker DA. 1996. An evaluation of drought screening techniques for *Eragrostis tef*. *Tropical Science (United Kingdom)*, 61(4): 263-393.
- Silva EN, Ribeiro RV, Ferreira-Silva SL, Viégas RA and Silveira JAG. 2011. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Scientia Agricola*, 68(1): 62–68. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100010>
- Soda N, Ephrath JE, Dag A, Beiersdorf I, Presnov E Yermiyahu U and Ben-Gal A. 2017. Root growth dynamics of olive (*Olea europaea* L.) affected by irrigation-induced salinity. *Plant and Soil*. 411: 305-318. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3032-9>
- Tedeschi A, Lavini A, Riccardi M, Pulvento C and d'Andria R. 2011. Melon Crops (*Cucumis melo* L., cv. Tendral) Grown in a Mediterranean Environment under Saline-Sodic Conditions. Part I. Yield and Quality. *Agricultural water management*, 98: 1329-1338. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.007>
- Tiwari JK, Munshi AD and Kumar R. 2010. Effect of salt stress on cucumber: Na⁺-K⁺ ratio, osmolyte concentration, phenols and chlorophyll content. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32:103–114. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0385-1>
- Volkov V. 2015. Salinity tolerance in plants. Quantitative approach to ion transport starting from halophytes and stepping to genetic and protein engineering for manipulating ion fluxes. *Frontiers in Plant Science*, 6: 873. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00873>
- Zhang Q, and Dai W. 2019. Plant response to salinity stress. In *Stress physiology of woody plants* (pp. 155-173). CRC Press.
- Xiong M, Zhang X, Shabala S, Shabala L, Chen Y, Xiang C and Huang Y. 2018. Evaluation of salt tolerance and contributing ionic mechanism in nine Hami melon landraces in Xinjiang, China. *Scientia Horticulturae*, 237: 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.023>