مقاله پژوهشی

ارزیابی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی براساس شاخص‌های تحمل تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای

داود کیانی*[1]، مختار زلفی باوریانی[1]، بهرام بهزادی[1]، رحیم خادمی[1] و ماهیار عابدی[2]

[1] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران

[2] مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶)

چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در برابر تولید محصول پایدار در زمین‌های زراعی جهان است. گوجه‌فرنگی در دسته گیاهان حساس به شوری قرار دارد. با ارزیابی تنوع موجود در میان ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری و استفاده از این تنوع در برنامه‌های به‌نژادی گوجه‌فرنگی امکان دستیابی به ژنوتیپ متحمل وجود دارد. بر این اساس در پروژه حاضر تعداد ۲۲ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین حسابی بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HM)، عملکرد (Y)، پایداری عملکرد (YSI) و حساسیت به تنش (SSI) براساس وزن خشک کل در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه گردید. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین نشان داد که بین ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد مطالعه برای دو صفت وزن خشک کل و وزن تر کل در دو شرایط تنش و بدون تنش شوری اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. این نتایج تأییدی بر وجود تنوع کافی بین ژنوتیپ‌ها برای ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها بود. صفت وزن خشک کل هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش (YP) بیشترین همبستگی (۰/۹) را با شاخص MP و صفت وزن خشک کل هر ژنوتیپ در محیط تنش (YS) بیشترین همبستگی (۰/۹۱) را با شاخص HM نشان داد و به عنوان شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گوجه فرنگی تحت تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای شناسایی شدند. براساس ترسیم بای‌پلات تجزیه به مؤلفه اصلی ژنوتیپ G۱۰ ژنوتیپ متحمل بود و بعد از آن ژنوتیپ‌های G۲، G۲۲، G۱۹ و G۵ وضعیت مناسبی برای تحمل تنش شوری نشان دادند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را در سه دسته مجزا تقسیم‌بندی کرد که رفتار متفاوتی در زمان انتقال از محیط بدون تنش به محیط تنش نشان دادند. براساس شاخص‌های تحمل و روش‌های گروه‌بندی ژنوتیپ G۱۰ به عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش شوری شناسایی گردید که می‌تواند به عنوان والد در برنامه‌های دورگ‌گیری و انتخاب ژنوتیپ متحمل مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تجزیه مؤلفه اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تحمل، تنش، گیاهچه

مقدمه

گیاهان در مزرعه در معرض تنش‌های متعدد زیستی و غیرزیستی هستند و پاسخ آنها به این تنش‌های مختلف، ظرفیت

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: d.kiani1986@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

آنها را برای بقا تعیین می‌کند (Dombrowski, 2003; Gao *et al*., 2013). شوری یک تنش غیرزیستی مهم است که رشد گیاه و عملکرد را محدود می‌کند. تنش شوری باعث آسیب سلولی در برگ¬های در حال تعرق می‌شود و در نتیجه رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Munns, 2005). شوری باعث کاهش شدید سطح برگ و همچنین کاهش سرعت خالص جذب دی‌اکسید کربن می‌شود (Khursheda *et al*., 2015). گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) از مهم‌ترین محصولات گیاهی در سراسر جهان است و همچنین به عنوان یک گیاه مدل برای تحقیقات ژنتیکی از خانواده Solanaceae به دلیل چرخه زندگی کوتاه، ژنوم دیپلوئید ساده، و ژنوم توالی‌یابی‌شده شناخته شده است (Zhang *et al*., 2020). تقاضای جهانی برای گوجه‌فرنگی در سال‌های اخیر به دلیل کاربرد متنوع آن در مواد غذایی خام، پخته و فرآوری‌شده و همچنین ارزش غذایی آن به شدت افزایش یافته است. از این‌رو ارزیابی تنوع ژنتیکی موجود در گوجه‌فرنگی برای توسعه ارقام پرمحصول با بهبود کیفیت میوه و تحمل در برابر تنش‌های غیرزیستی و زیستی ضرورت دارد (Chaudhary *et al*., 2019). تنوع ژنتیکی در یک گونه ابزار ارزشمندی برای غربالگری و به‌نژادی برای تحمل شوری بیشتر است. بسیاری از محققان تنوع زیادی را در بین ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی در پاسخ به شوری گزارش کرده‌اند (Dasgan *et al*., 2002). حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه به تنش شوری در اکثر گونه‌های گیاهی مراحل اولیه رشد است و بیشتر پژوهش‌ها در ارتباط با تنش شوری در همین مرحله اجرا شده است (Wu *et al*., 2019). ارقام گوجه‌فرنگی در مرحله جوانه‌زنی بذر و مراحل اولیه رشد گیاهچه بیشترین آسیب را نسبت به شوری دارند (Foolad, 2004). تاکنون شاخص‌های مختلف براساس روابط ریاضی برای شرح‌دادن رفتار یک ژنوتیپ خاص تحت شرایط تنش و بدون تنش مورد استفاده قرار گرفته است. برای انتخاب ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل به تنش، استراتژی‌های مختلفی پیشنهاد شده است (Fernandez, 1992). یک رویکرد رایج انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس زیست‌توده یا عملکرد آنها در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش است (Alam *et al*., 2021). بسیاری از مطالعات دیگر رویکرد متفاوتی را برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل برای تنش غیرزیستی براساس برخی از شاخص‌های تنش یا معیارهای انتخاب پیشنهاد کرده‌اند. این شاخص‌های تنش می‌توانند نشانه قابل اعتمادی برای ارزیابی عملکرد ژنوتیپی یک محصول براساس زیست‌توده تولیدی یا عملکرد ارائه دهند (Morton *et al*., 2019; Derbali *et al*., 2020). گیاهان را از نظر عکس‌العمل به شرایط تنش و بدون تنش به چهار گروه قابل تقسیم‌بندی هستند. گیاهانی که برتری نسبی یکنواختی در هر دو شرایط دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که تنها در شرایط بدون تنش عملکرد خوبی دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد آنها در شرایط تنش به طور نسبی مطلوب است (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد ضعیفی را نشان می‌دهند (گروه D) (Fernandez, 1992). معیار مناسب برای تحمل تنش معیاری است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد (Fernandez, 1992). در گزارشی Fischer و Maurer (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index, SSI) را معرفی و بیان کردند ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از یک ژنوتیپ‌هایی هستند که در شرایط تنش وضعیت مناسبی دارند. شاخص تحمل (Tolerance, TOL) و شاخص میانگین بهره‌وری (Mean Productivity, MP) توسط Rossielle و Hamblin (۱۹۸۱) پیشنهاد شد. ژنوتیپ‌هایی با مقادیر TOL بیشتر، حساسیت بیشتری را در شرایط تنش نشان می‌دهند. شاخص MP از جمع جبری یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش حاصل می‌شود. میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity, GMP) و شاخص میانگین هارمونیک (Harmonic Mean, HM) توسط Fernandez (۱۹۹۲) برای میانگین بهره‌وری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بیان شد. شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index, YSI) را Bouslama و Schapaugh (۱۹۸۴) ارئه دادند. ژنوتیپ‌هایی با YSI بالاتر انتظار می‌رود در هر دو شرایط تنش و بدون تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

وضعیت مناسبی داشته باشند. شاخص عملکرد (Yield Index, YI) توسط Gavuzzi و همکاران (۱۹۹۷) پیشنهاد گردید، که براساس این شاخص ژنوتیپ‌هایی با وضعیت مناسب در شرایط تنش و بدون تنش قابل تشخیص نیست و تنها رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را براساس شرایط تنش انجام می‌دهد. شاخص‌های تحمل تنش و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری امکان شناسایی ژنوتیپ‌هایی با وضعیت مناسب در شرایط تنش و بدون تنش را فراهم می‌کنند (Fischer and Maurer, 1978). در بسیاری از گونه‌های گیاهی تحمل تنش شوری در مراحل مختلف نموی متفاوت است و تحمل در یک مرحله نموی ارتباطی با دیگر مراحل رشدونمو ندارد. با این وجود در گوجه‌فرنگی غربالگری‌ها و آنالیزهای فیزیولوژی در مراحل اولیه رشد گیاه انجام شده است (Alian *et al*. 2000; Dombrowski, 2003; Lopez-Delacalle *et al*., 2020; Jia *et al*., 2020). شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین هندسی بهره¬وری (GMP)، میانگین هارمونیک بهره‌وری (HMP)، شاخص شوری (SI)، شاخص عملکرد (YI) در مرحله گیاهچه‌ای برای تقسیم بندی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری مورد استفاده قرار گرفته است (Alam *et al*., 2021). همبستگی میان غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی، نسبت کلسم به سدیم، وزن خشک ریشه و اندام هوایی به عنوان عامل طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها گوجه‌فرنگی برای تحمل تنش شوری بیان شده است (Dasgan *et al*., 2002). نتایج متفاوتی برای تحمل تنش شوری در گوجه‌فرنگی گزارش شده است و این عاملی برای سردرگمی و ایجاد حجم زیاد کاری برای محققین در ارزیابی تعداد زیاد نمونه در مطالعات به‌نژادی است. از این‌رو معرفی یک شاخص در مراحل ابتدایی رشد که آنالیز تعداد زیاد نمونه ژنتیکی را در برنامه‌های به‌نژادی برای تحمل تنش شوری ممکن سازد ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، تحقیق حاضر برای غربالگری ۲۲ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی برای تحمل تنش شوری، با در نظر گرفتن زیست‌توده تولیدی (وزن خشک کل گیاه در شرایط تنش و بدون تنش) در مرحله گیاهچه‌ای انجام شد. استفاده از شاخص‌های مهم در تحمل شوری در گوجه‌فرنگی در مرحله گیاهچه‌ای و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل برای کاربرد این ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود تحمل به شوری مورد هدف مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و اعمال تنش شوری: این آزمایش به صورت گلدانی و در گلدان‌هایی با حجم ۸ لیتر در گلخانه ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر- برازجان با ارتفاع ۱۱۰ متـر از سطح دریا با مختصات طول جغرافیـایی ۵۱ درجـه و ۱۷دقیقه شرقی و عرض ۲۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی بـه اجرا شد. در این مطالعه تعداد ۱۰ ژنوتیپ (G۱ تا G۱۰) گوجه‌فرنگی از بانک ژن مؤسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی در کشور آلمان (The (IPK) Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research) و تعداد ۱۲ ژنوتیپ (G۱۱ تا G۲۲) گوجه‌فرنگی، شامل تعدادی از ارقام تجاری که معمول مورد کشت قرار می‌گیرد (در مجموع ۲۲ ژنوتیپ) تهیه و استفاده شد (جدول ۱). با توجه با آستانه تحمل تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی (۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) دو سطح شوری شامل سطح اول پایین‌تر از سطح آستانه تحمل (۱ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان شاهد و سطح شوری دوم بالاتر از آستانه تحمل (۶ دسی‌زیمنس بر متر) (Foolad, 2004; Maggio *et al*., 2007) با استفاده از کلرید سدیم در نظر گرفته شد. در تیمار شوری به دلیل وجود زهکشی گلدان‌ها تمام مراحل آبیاری با آب شور انجام شد و هدایت الکتریکی خروجی و ورودی اندازه‌گیری شد تا سطح تنش در تمام گلدان و در مراحل رشد ثابت باشد. بذور هر ژنوتیپ به طور مستقیم در گلدان با بستر خاک (جدول ۲) و در محیط گلخانه در دهه اول آبان با شرایط دما و نور طبیعی مورد کشت قرار گرفت. بعد از ۳۵ روز در مرحله چهار برگی اعمال تنش شوری با توجه به هر تیمار صورت گرفت و پس از ۷۰ روز از کاشت نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری صفات انجام شد. این آزمایش به بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

شماره ژنوتیپ	G۱	G۲	G۳	G۴	G۵	G۶
کد ژنوتیپ	LYC 3652	LYC 3719	LYC 3655	LYC 3721	LYC 3715	LYC 3720
شماره ژنوتیپ	G۷	G۸	G۹	G۱۰	G۱۱	G۱۲
کد ژنوتیپ	LYC 3718	LYC 3653	LYC 3729	LYC 3753	PETOPRIDE2	SV4129TH
شماره ژنوتیپ	G۱۳	G۱۴	G۱۵	G۱۶	G۱۷	G۱۸
کد ژنوتیپ	PAMELA	SV5353TD	GS12	OULA	KAL J N 3	MATIN
شماره ژنوتیپ	G۱۹	G۲۰	G۲۱	G۲۲		
کد ژنوتیپ	SV8320TD	KAROON	Sun seed 6189	Sun seed 6108		

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پتاسیم (p.p.m.)	فسفر (p.p.m.)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	بافت خاک
۴۸۰	۳۱	۰/۷۲	۰/۸۸۲	۷/۶	شنی لومی

اندازه‌گیری شاخص‌های تحمل تنش: صفات شامل وزن خشک کل (Total Dry Weight, TDW) و وزن تر کل (Total Fresh Weight, TFW) به عنوان پاسخ رشد اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تحمل تنش شوری برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش شوری برای صفت وزن خشک کل محاسبه (معادله ۱ تا ۹) گردید. در این روابط YP، Ys به ترتیب بیانگر وزن خشک کل هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، محیط تنش، و $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ به ترتیب میانگین وزن خشک کل همه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و محیط تنش است.

معادله ۱
$$TOL = YP - YS$$

معادله ۲
$$MP = \frac{(Yp + Ys)}{2}$$

معادله ۳
$$STI = \frac{Yp \times Ys}{(\bar{Y}p)^2}$$

معادله ۴
$$GMP = \sqrt{Yp \times Ys}$$

معادله ۵
$$YI = \frac{Ys}{\bar{Y}s}$$

معادله ۶
$$HM = \frac{2(Yp \times Ys)}{(Yp + Ys)}$$

معادله ۷
$$RSI = \frac{\left(\frac{Ys}{Yp}\right)}{\left(\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right)}$$

معادله ۸
$$YSI = \frac{Ys}{Yp}$$

معادله ۹
$$SSI = \frac{\left(1 - \frac{Ys}{Yp}\right)}{\left(1 - \left(\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right)\right)}$$

تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین براساس روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. امتیاز خسارت نظری گیاه (Visual plant damage score (V Score)) براساس پیشنهاد (Dasgan *et al*., 2002) به صورت امتیاز ۱ (سالم) تا ۵ (کاملاً آسیب‌دیده) داده شد. برای ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل از تجزیه بای‌پلات و استفاده از دو مؤلفه اول و دوم تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. از آنجایی که مؤلفه اول تغییراتی را توجیه می‌کند که مؤلفه اول تبیین نمی‌کند و در مقابل تغییرات توجیه‌شده در مؤلفه دوم توسط مؤلفه اول تبیین نمی‌شود می‌توان دو مؤلفه را در یک بای‌پلات به صورت عمود بر هم نشان داد و پراکندگی شاخص‌ها و روابط بین آن‌ها را بررسی نمود. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمایش دو بعدی و گرافیکی شاخص‌های تحمل در ژنوتیپ‌ها از نرم‌افزار آنلاین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

iPASTIC (Pour Aboughadareh *et al*., 2019) استفاده گردید. تجزیه کلاستر با استفاده از ماتریس فاصله اقلیدوسی و روش کلاستربندی Ward's با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18.0 صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی برای صفت‌های وزن تر و وزن خشک کل گیاه در دو شرایط تنش و بدون تنش شوری در جدول ۳ آمده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد مطالعه برای دو صفت وزن خشک کل و وزن تر کل در دو شرایط تنش و بدون تنش شوری اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. این نتایج تأییدی بر وجود تنوع کافی بین ژنوتیپ‌ها برای ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها بود. نتایج مقایسه‌های میانگین (جدول ۴) نشان داد بیشترین وزن تر کل در شرایط بدون تنش برای دو ژنوتیپ G۹ و G۲۲ به ترتیب با ۷۸/۳۶ گرم و ۷۱/۲۱ گرم بود. دو ژنوتیپ G۱۳ و G۱ به ترتیب با ۲۱/۸۸ و ۱۴/۲۵ گرم کمترین وزن تر کل در شرایط بدون تنش را نشان دادند. دامنه تغییرات وزن تر کل در شرایط بدون تنش برابر ۵۶/۴۸ گرم (۲/۵۸ برابر کمترین ژنوتیپ) بدست آمد. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های G۹ (با ۸/۳۰ گرم) و G۱۸ (با ۷/۹۹ گرم) بیشترین و ژنوتیپ‌های G۱ (با ۲/۴۴ گرم) و G۳ (با ۲/۸۰ گرم) کمترین وزن خشک کل را در شرایط بدون تنش نشان دادند. دامنه تغییرات این صفت ۵/۸۶ گرم (۲/۳۹ برابر کمترین ژنوتیپ) بود. این نتایج تأیید کرد که لزوماً ژنوتیپ‌هایی با وزن تر کل بیشتر مقادیر بیشتری از وزن خشک کل را نشان نخواهند داد. در شرایط تنش شوری ژنوتیپ‌های G۲ (با ۴۰/۶۳ گرم) و G۱۰ (با ۳۱/۳۹ گرم) بیشترین وزن تر کل را نشان دادند و کمترین مقدار وزن تر کل در شرایط تنش شوری برای ژنوتیپ‌های G۱۴ (با ۱۴/۰۶ گرم) و G۱۶ (با ۱۵/۲۶ گرم) بدست آمد. دامنه تغییرات برای این صفت ۲۶/۷۵ گرم (۱/۸۸ برابر کمترین ژنوتیپ) بود. در شرایط تنش شوری ژنوتیپ‌های G۱۰ (با ۷/۸۱ گرم) و G۲ (با ۵/۷ گرم) بیشترین وزن خشک کل را نشان دادند و کمترین مقدار وزن خشک کل در شرایط تنش شوری برای ژنوتیپ‌های G۱ (با ۲/۱۵ گرم) و G۱۱ (با ۲/۲۵ گرم) بدست آمد. دامنه تغییرات برای این صفت ۵/۶۶ گرم (۲/۶۳ برابر کمترین ژنوتیپ) بود. امتیاز آسیب نظری گیاه (Visual plant damage score) در شرایط تنش شوری (Dasgan *et al*., 2002) نشان داد ژنوتیپ G۱۰ کمترین امتیاز (آسیب کمتر) و ژنوتیپ G۱۶ بیشترین امتیاز (آسیب بیشتر) را دریافت کردند (شکل ۱). مقایسه میانگین کل تولید زیست‌توده ژنوتیپ‌ها (وزن تر و خشک کل) بین شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که میانگین همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش با ۴۳/۷ درصد و ۲۶/۱ درصد نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب برای وزن تر و خشک کل کاهش نشان داد. تنش شوری به دلیل تنش اسمزی و سمیت یونی باعث کاهش زیست‌توده و بهره‌وری کلی گیاه می‌شود (Marium *et al*., 2019). فاکتورهای متفاوتی مانند غلظت سدیم در ریشه و اندام هوایی، نسبت کلسم به سدیم، وزن خشک ریشه و اندام هوایی عنوان عامل طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی برای تحمل تنش شوری معرفی شده است (Dasgan *et al*., 2002). در گزارشی بیان شد با افزایش سطح شوری، طول ساقه و ریشه، وزن تازه و وزن خشک در گوجه‌فرنگی در مرحله گیاهچه‌ای کاهش یافت (Sivakumar *et al*., 2020). یافته‌های مطالعه‌ای نشان داد که تنش شوری باعث کاهش قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گوجه‌فرنگی در مرحله گیاهچه‌ای شد (Alam *et al*., 2021).

ارزیابی شاخص‌های تحمل تنش: مقادیر شاخص‌های ارزیابی تنش براساس فرمول‌های ارائه‌شده برای ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی در جدول ۵ آمده است. برای شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از مناسب‌ترین شاخص‌ها از ۹ شاخص ارزیابی تحمل و حساسیت استفاده شد. در شاخص تحمل (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) مقادیر عددی پایین نشان‌دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها است. ژنوتیپ‌های G۵، G۱۰ و G۱۹ رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ را برای شاخص TOL و SSI نشان دادند. گزینش ژنوتیپ براساس دو

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن تر کل	وزن خشک کل
تکرار	۲	۰/۱۲ ns	۲۱/۳۷ ns
ژنوتیپ	۲۱	۷۴۱/۰۳**	۱۰/۴۶**
شوری	۱	۱۲۱۱۰/۲۱**	۵۷/۰۴**
ژنوتیپ × شوری	۲۱	۳۱۰/۹۲**	۳/۲۶**
خطا	۸۶	۱۷/۷۲**	۰/۳۱۴**
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۲/۲۹	۱۲/۸۰

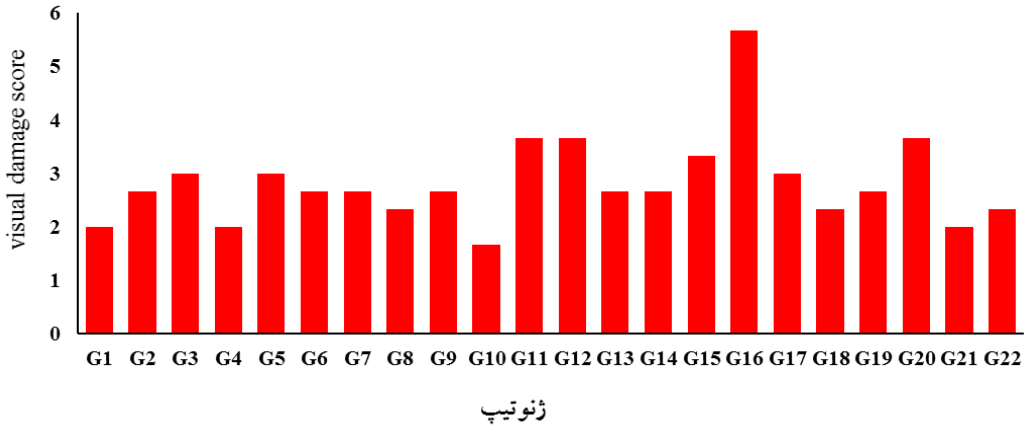
ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری و بدون تنش

ژنوتیپ	وزن تر کل (گرم)		وزن خشک کل (گرم)	
	شرایط بدون تنش	شرایط تنش	شرایط بدون تنش	شرایط تنش
G1	۲۵/۱۴	۱۶/۶۵	۲/۴۴	۲/۱۵
G2	۶۸/۴۸	۴۰/۶۳	۶/۶۱	۵/۷۰
G3	۲۹/۴۰	۱۸/۱۶	۲/۸۰	۲/۳۷
G4	۵۹/۹۹	۲۳/۲۶	۶/۶۱	۴/۰۶
G5	۲۹/۸۱	۲۷/۹۳	۳/۷۷	۵/۳۰
G6	۳۹/۳۹	۱۹/۸۹	۳/۹۶	۲/۷۳
G7	۶۶/۹۸	۲۰/۹۸	۴/۳۴	۳/۲۰
G8	۴۴/۵۵	۲۸/۲۸	۴/۴۴	۳/۴۹
G9	۷۸/۳۶	۲۵/۶۰	۸/۳۰	۳/۵۶
G10	۶۵/۳۶	۳۹/۳۱	۶/۵۶	۷/۸۱
G11	۳۵/۲۹	۱۷/۱	۴/۵۲	۲/۲۵
G12	۳۵/۷۱	۲۶/۱۴	۴/۹۷	۳/۹۱
G13	۸۸/۲۱	۲۴/۸۴	۴/۲۵	۳/۴۲
G14	۲۷/۷۶	۱۴/۰۶	۳/۴۱	۲/۵۶
G15	۳۰/۳۲	۲۲/۳۹	۳/۸۸	۳/۱۸
G16	۳۵/۲۰	۱۵/۲۶	۴/۸۵	۲/۶۱
G17	۳۵/۴۵	۱۹/۷۳	۴/۵۱	۲/۸۲
G18	۵۸/۲۲	۲۹/۵۵	۷/۹۹	۴/۰۹
G19	۲۸/۹۶	۲۶/۵۸	۳/۹۷	۴/۵۷
G20	۳۵/۹۶	۲۲/۲۹	۵/۰۲	۳/۲۹
G21	۴۰/۶۴	۳۰/۶۸	۵/۵۳	۳/۲۱
G22	۷۱/۲۱	۳۳/۳۱	۷/۹۳	۵/۴۶
LSD 5%	۷/۳۷۳۱		۰/۹۷۲۸	

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]



شکل ۱- میانگین امتیاز آسیب نظری گیاه تحت تنش شوری برای ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی برپایه امتیاز ۱ تا ۵ (Dasgan *et al.*, 2002).

جدول ۵- برآورد میزان حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی توسط شاخص‌های مختلف ارزیابی تنش شوری

ژنوتیپ	Yp	Ys	RC	TOL	MP	GMP
G1	۲/۴۴(۲۲)	۲/۱۵(۲۲)	۱۲/۱۲(۴)	۰/۲۹(۴)	۲/۲۹(۲۲)	۲/۲۹(۲۲)
G2	۶/۶۱(۴)	۵/۷۰(۲)	۱۳/۷۱(۵)	۰/۹۰(۹)	۶/۱۵(۳)	۶/۱۳(۳)
G3	۲/۸۰(۲۱)	۲/۳۷(۲۰)	۱۵/۲۱(۶)	۰/۴۲(۵)	۲/۵۹(۲۱)	۲/۵۸(۲۱)
G4	۶/۶۱(۴)	۴/۰۶(۷)	۳۸/۴۷(۱۷)	۲/۵۴(۲۰)	۵/۳۳(۶)	۵/۱۸(۶)
G5	۳/۷۷(۱۹)	۵/۳۰(۴)	-۴۰/۵۲(۱)	-۱/۵۲(۱)	۴/۵۳(۷)	۴/۴۷(۷)
G6	۳/۹۶(۱۷)	۲/۷۳(۱۷)	۳۰/۸۵(۱۳)	۱/۲۲(۱۳)	۳/۳۴(۱۹)	۳/۲۹(۱۸)
G7	۴/۳۴(۱۴)	۳/۲۰(۱۴)	۲۶/۱۹(۱۲)	۱/۱۳(۱۲)	۳/۷۷(۱۴)	۳/۷۲(۱۴)
G8	۴/۴۴(۱۳)	۳/۴۹(۱۰)	۲۱/۴۸(۱۰)	۰/۹۵(۱۰)	۳/۹۶(۱۲)	۳/۹۳(۱۲)
G9	۸/۳۰(۱)	۳/۵۶(۹)	۵۷/۱۵(۲۲)	۴/۷۴(۲۲)	۵/۹۳(۵)	۵/۴۳(۵)
G10	۶/۵۶(۶)	۷/۸۱(۱)	-۱۸/۹۰(۲)	-۱/۲۴(۲)	۷/۱۸(۱)	۷/۱۶(۱)
G11	۴/۵۲(۱۱)	۲/۲۵(۲۱)	۵۰/۰۷(۲۱)	۲/۲۶(۱۷)	۳/۳۸(۱۹)	۳/۱۹(۱۹)
G12	۴/۹۷(۹)	۳/۹۱(۸)	۲۱/۲۰(۹)	۱/۰۵(۱۱)	۴/۴۴(۸)	۴/۴۱(۸)
G13	۴/۲۵(۱۵)	۳/۴۲(۱۱)	۱۹/۴۵(۸)	۰/۸۲(۷)	۳/۸۳(۱۳)	۳/۸۱(۱۳)
G14	۳/۴۱(۲۰)	۲/۵۶(۱۹)	۲۵/۰۷(۱۱)	۰/۸۵(۸)	۲/۹۸(۲۰)	۲/۹۵(۲۰)
G15	۳/۸۸(۱۸)	۳/۱۸(۱۵)	۱۷/۹۹(۷)	۰/۶۹(۶)	۳/۵۳(۱۷)	۳/۵۱(۱۷)
G16	۴/۸۵(۱۰)	۲/۶۱(۱۸)	۴۶/۲۲(۱۹)	۲/۲۴(۱۶)	۳/۷۳(۱۵)	۳/۵۵(۱۵)
G17	۴/۵۱(۱۲)	۲/۸۲(۱۶)	۳۷/۴۳(۱۶)	۱/۶۹(۱۴)	۳/۶۷(۱۶)	۳/۵۷(۱۶)
G18	۷/۹۹(۲)	۴/۰۹(۶)	۴۸/۷۴(۲۰)	۳/۸۹(۲۱)	۶/۰۴(۴)	۵/۷۲(۴)
G19	۳/۹۷(۱۶)	۴/۵۷(۵)	-۱۵/۱۰(۳)	-۰/۶(۳)	۴/۲۷(۱۰)	۴/۲۶(۱۰)
G20	۵/۰۲(۸)	۳/۲۹(۱۲)	۳۴/۵۳(۱۵)	۱/۷۳(۱۵)	۴/۱۵(۱۱)	۴/۰۶(۱۱)
G21	۵/۵۳(۷)	۳/۲۱(۱۳)	۴۱/۹۵(۱۸)	۲/۳۲(۱۸)	۴/۳۷(۹)	۴/۲۱(۹)
G22	۷/۹۳(۳)	۵/۴۶(۳)	۳۱/۱۶(۱۴)	۲/۴۷(۱۹)	۶/۷(۲)	۶/۵۸(۲)

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده رتبه هر ژنوتیپ در آن شاخص است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

جدول ۵-

ژنوتیپ	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
G1	۲/۲۸(۲۲)	۰/۴۶(۴)	۰/۲۰(۲۲)	۰/۵۷(۲۲)	۰/۸۷(۴)	۱/۱۸(۴)
G2	۶/۱۲(۳)	۰/۵۲(۵)	۱/۴۸(۳)	۱/۵۳(۲)	۰/۸۶(۵)	۱/۱۶(۵)
G3	۲/۵۷(۲۱)	۰/۵۸(۶)	۰/۲۶(۲۱)	۰/۶۳(۲۰)	۰/۸۴(۶)	۱/۱۴(۶)
G4	۵/۰۳(۵)	۱/۴۷(۱۷)	۱/۰۶(۶)	۱/۰۹(۷)	۰/۶۱(۱۷)	۰/۸۳(۱۷)
G5	۴/۴۰(۷)	−۱/۵۵(۱)	۰/۷۸(۷)	۱/۴۲(۴)	۱/۴۰(۱)	۱/۹۰(۱)
G6	۳/۲(۱۸)	۱/۱۸(۱۳)	۰/۴۲(۱۸)	۰/۷۳(۱۷)	۰/۶۹(۱۳)	۰/۹۳(۱۳)
G7	۳/۶۸(۱۴)	۱/۰(۱۲)	۰/۵۴(۱۴)	۰/۸۶(۱۴)	۰/۷۳(۱۲)	۰/۹۹(۱۲)
G8	۳/۹۱(۱۲)	۰/۸۲(۱۰)	۰/۶۱(۱۲)	۰/۹۳(۱۰)	۰/۷۸(۱۰)	۱/۰۶(۱۰)
G9	۴/۹۰(۶)	۲/۱۸(۲۲)	۱/۱۶(۵)	۰/۹۵(۹)	۰/۴۲(۲۲)	۰/۵۷(۲۲)
G10	۷/۱۳(۱)	−۰/۷۲(۲)	۲/۰۲(۱)	۲/۱۰(۱)	۱/۱۸(۲)	۱/۶۰(۲)
G11	۳/۰۱(۱۹)	۱/۹۱(۲۱)	۰/۴۰(۱۹)	۰/۶۰(۲۱)	۰/۴۹(۲۱)	۰/۶۷(۲۱)
G12	۴/۳۸(۸)	۰/۸۱(۹)	۰/۷۶(۸)	۱/۰۵(۸)	۰/۷۸(۹)	۱/۰۶(۹)
G13	۳/۷۹(۱۳)	۰/۷۴(۸)	۰/۵۷(۱۳)	۰/۹۲(۱۱)	۰/۸۰(۸)	۱/۰۹(۸)
G14	۲/۹۲(۲۰)	۰/۹۵(۱۱)	۰/۳۴(۲۰)	۰/۶۸(۱۹)	۰/۷۴(۱۱)	۱/۰۱(۱۱)
G15	۳/۴۹(۱۵)	۰/۶۸(۷)	۰/۴۸(۱۷)	۰/۸۵(۱۵)	۰/۸۲(۷)	۱/۱۱(۷)
G16	۳/۳۹(۱۷)	۱/۷۶(۱۹)	۰/۴۰(۱۶)	۰/۷۰(۱۸)	۰/۵۳(۱۹)	۰/۷۲(۱۹)
G17	۳/۴۷(۱۶)	۱/۴۳(۱۶)	۰/۵۰(۱۵)	۰/۷۶(۱۶)	۰/۶۲(۱۶)	۰/۸۴(۱۶)
G18	۵/۴۱(۴)	۱/۸۶(۲۰)	۱/۲۹(۴)	۱/۱۰(۶)	۰/۵۱(۲۰)	۰/۶۹(۲۰)
G19	۴/۲۵(۹)	−۰/۵۷(۳)	۰/۷۱(۹)	۱/۲۲(۵)	۱/۱۵(۳)	۱/۵۵(۳)
G20	۳/۹۷(۱۱)	۱/۳۲(۱۵)	۰/۶۵(۱۱)	۰/۸۸(۱۲)	۰/۶۵(۱۵)	۰/۸۸(۱۵)
G21	۴/۰۶(۱۰)	۱/۶۰(۱۸)	۰/۷۰(۱۰)	۰/۸۶(۱۳)	۰/۵۸(۱۸)	۰/۷۸(۱۸)
G22	۶/۴۷(۲)	۱/۱۹(۱۴)	۱/۷۱(۲)	۱/۴۶(۳)	۰/۶۸(۱۴)	۰/۹۳(۱۴)

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده رتبه هر ژنوتیپ در آن شاخص است.

شاخص TOL و SSI نشان‌دهنده پایین‌بودن درصد تغییرات یک ژنوتیپ هنگامی که از محیط بدون تنش به محیط تنش انتقال پیدا می‌کند است، از این‌رو بیشتر جنبه فیزیولوژیک دارد. ژنوتیپ‌های برتر براساس این شاخص‌ها دارای رتبه‌های مناسبی برای وزن خشک کل در شرایط بدون تنش نبودند (جدول ۵). براساس شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که مقادیر بیشتر این شاخص‌ها نشان‌دهنده متحمل‌بودن ژنوتیپ‌ها است مشخص گردید ژنوتیپ‌های G۱۰، G۲۲ و G۲ به ترتیب رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ را داشتند. براساس شاخص بهره‌وری متوسط (MP) و شاخص میانگین هارمونیک (HM) ژنوتیپ‌های G۱۰، G۲۲ و G۲ به ترتیب رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ را نشان دادند. شاخص‌های STI، GMP، MP و HM منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی شد که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش مقادیر بیشتری از وزن خشک کل را نشان دادند. ژنوتیپ‌های G۱۰، G۲ و G۲۲ به ترتیب رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ را برای شاخص عملکرد (YI) نشان دادند. بر پایه ارزیابی نتایج شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص حساسیت نسبی (RSI) ژنوتیپ‌های G۵، G۱۰ و G۱۹

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

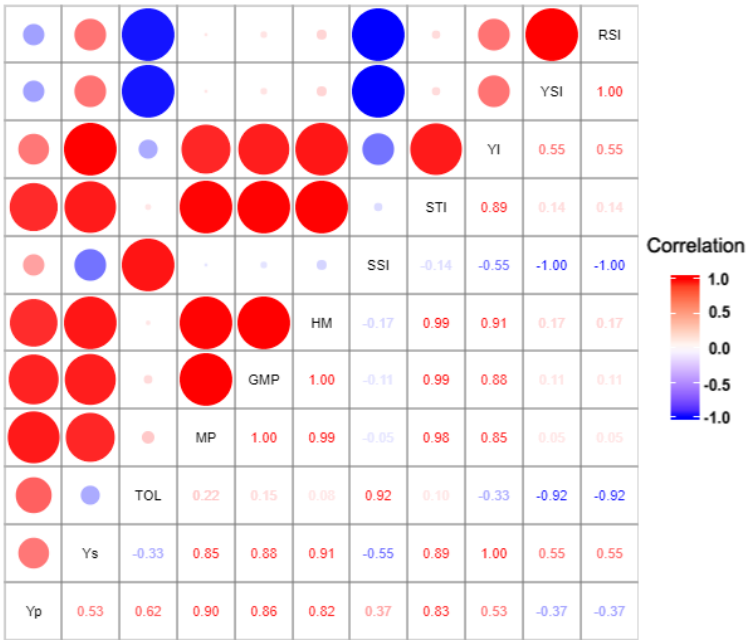
به ترتیب رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ را دریافت کردند. این شاخص‌ها همچون شاخص SSI مشخص می‌کند ژنوتیپ‌ها با رتبه برتر تغییرات کمتری را در زمان انتقال به محیط تنش از خود نشان می‌دهند. از این‌رو به نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها شرایط فیزیولوژیکی مناسب‌تری برای تحمل تنش شوری داشته و در تلاقی با ژنوتیپ‌های با عملکرد بهتر در محیط بدون تنش قابلیت واردشدن به برنامه‌های به‌نژادی برای افزایش تحمل تنش شوری را دارا هستند. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس میانگین همه شاخص‌ها نشان داد ژنوتیپ‌های G۱۰، G۲، G۵ و G۱۹ دارای رتبه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ بودند. Alam و همکاران (۲۰۲۱) از شاخص‌های TOL، SSI، MP، GMP، STI، YI و SI براساس وزن خشک کل برای بررسی اثر تنش شوری در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی استفاده کردند و نشان دادند ژنوتیپ‌های برای این شاخص‌ها دارای اختلاف هستند و رتبه‌های متفاوتی گرفتند.

تجزیه همبستگی: نتایج حاصل از بررسی تجزیه همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش شوری در شکل ۲ آمده است. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد وزن کل خشک در شرایط بدون تنش با شرایط تنش همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۵۳) دارد. بر این اساس تنها ۲۸ درصد (R^2=0.28) از تغییرات وزن خشک کل در شرایط تنش با وزن خشک کل در شرایط بدون تنش قابل توجیه است. این همبستگی نشان داد با افزایش وزن خشک در شرایط بدون تنش وزن خشک بیشتری در شرایط بدون تنش بدست خواهد آمد، اما میزان تغییرات بین دو محیط برای ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت است. دو شاخص TOL و شاخص MP به ترتیب با ۰/۶۲ و ۰/۹ همبستگی بالاتری را با وزن خشک کل در شرایط بدون تنش نشان دادند. شاخص‌های GMP، HM، SSI، STI، YI، YSI و RSI همبستگی بالاتری را با وزن خشک کل در شرایط تنش نشان دادند. صفت YP بیشترین همبستگی (۰/۹) را با شاخص MP نشان داد. ژنوتیپ G۱۰ رتبه ۱ را برای شاخص MP (جدول ۵) نشان داد. صفت YS بیشترین همبستگی (۰/۹۱) را با شاخص HM نشان داد و همچنین ژنوتیپ G۱۰ رتبه ۱ (جدول ۵) را برای این شاخص داشت. از این‌رو می‌توان نتیجه‌گیری کرد ژنوتیپ G۱۰ با ویژگی‌های مثبت در دو محیط بدون تنش و تنش شرایط مناسبی را برای تحمل تنش شوری دارا است. در مطالعه انجام‌شده توسط درویش‌نیا و همکاران (۱۳۹۹) بیشترین همبستگی مثبت را تحت تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم برای YP و YS به ترتیب با MP و HM مشاهده کردند. در یک بررسی همبستگی مثبتی بین شاخص‌های MP، GMP، STI، با وزن خشک کل تحت تنش شوری در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مشاهده گردید و همچنین بیشترین همبستگی بین شاخص HM با وزن خشک کل بدست آمد (Alam *et al*., 2021).

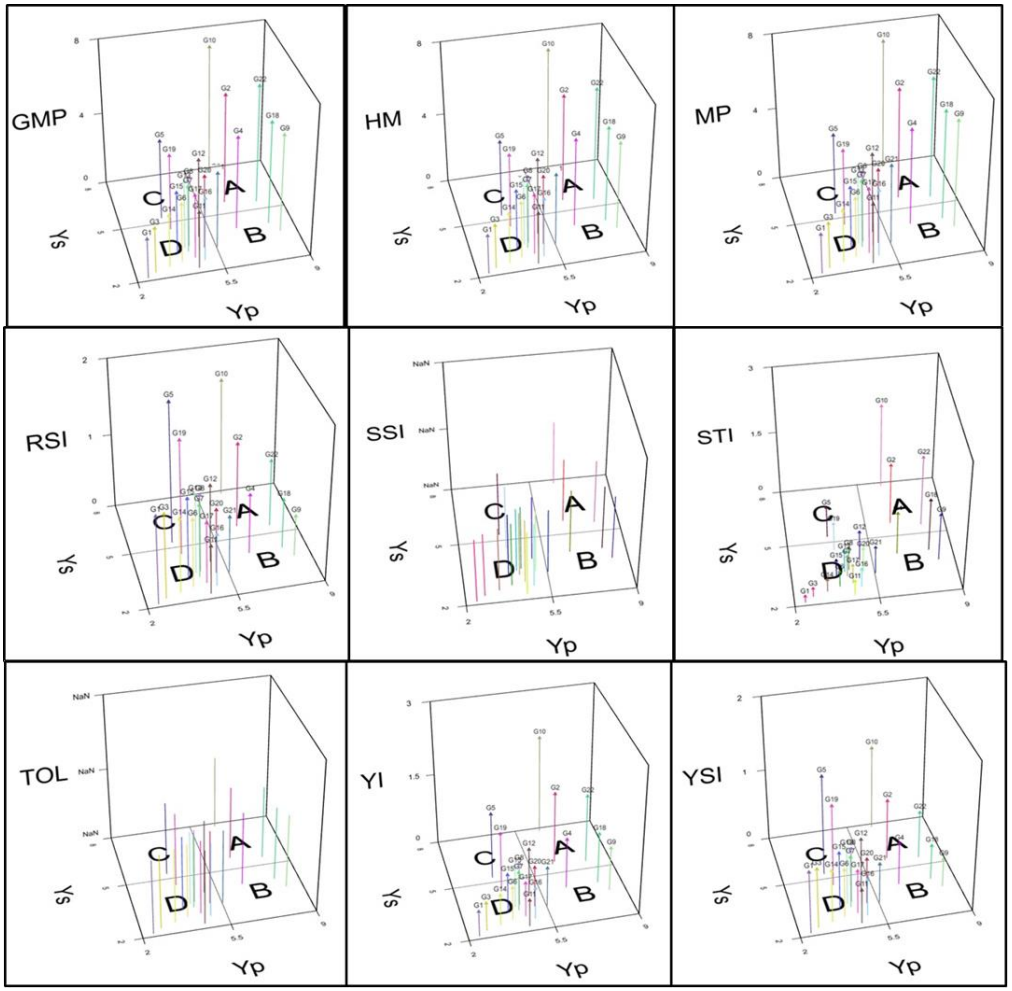
معیار مناسب برای تحمل به تنش معیاری است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد (Fernandez, 1992). برای این منظور از نمودار سه بعدی وزن خشک کل در شرایط بدون تنش (YP) و تنش (YS) شوری با شاخص‌های تحمل و حساسیت استفاده شد (شکل ۳). نتایج نشان داد براساس شاخص‌های تحمل تنش شوری ژنوتیپ G۱۰، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و براساس همه شاخص‌ها در گروه A قرار گرفت و ژنوتیپی مناسب برای وارد شدن به برنامه‌های به‌نژادی تحمل به تنش شوری در گوجه‌فرنگی است.

با استفاده از ترسیم بای‌پلات براساس دو مؤلفه اول امکان بررسی پراکندگی شاخص‌های تحمل به تنش و ژنوتیپ‌ها در یک شکل واحد امکان‌پذیر است. در واقع حجم زیادی از اطلاعات پراکندگی اطلاعات با رسم دو مؤلفه اول به صورت عمود بر هم بررسی می‌شود (شکل ۴). نتایج نشان داد دو مؤلفه اول در مجموع ۹۸/۹۱ (مؤلفه اول ۵۹/۳۹ و مؤلفه دوم ۳۹/۵۱) درصد تغییرات را توجیه کرد. مؤلفه اول همبستگی بالایی را با شاخص‌های YP، MP، GMP، STI و YS نشان داد. این مؤلفه همبستگی بالایی را با وزن خشک کل در هر دو محیط بدون تنش شوری و تنش شوری نشان داد و ژنوتیپ‌های انتخابی براساس این مؤلفه در هر دو محیط شرایط مناسبی داشته و متحمل خواهند بود. همچنین مؤلفه دوم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]



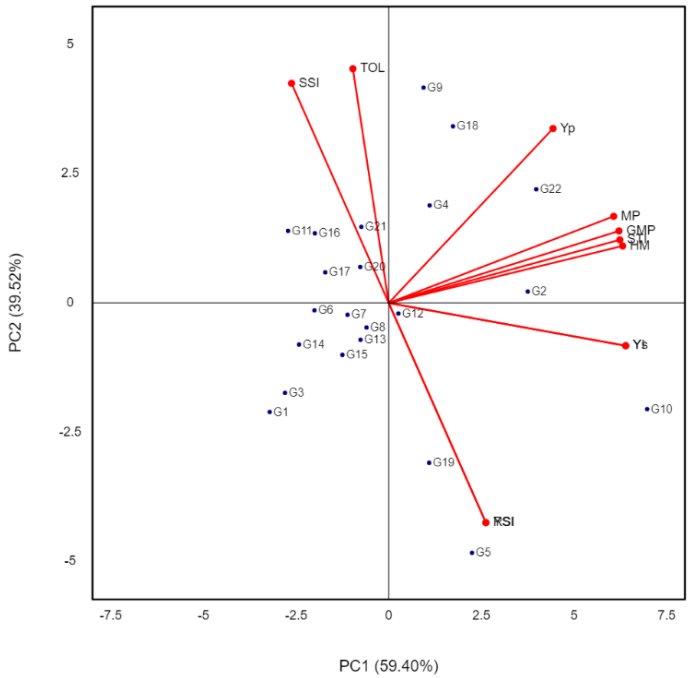
شکل ۲- ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای



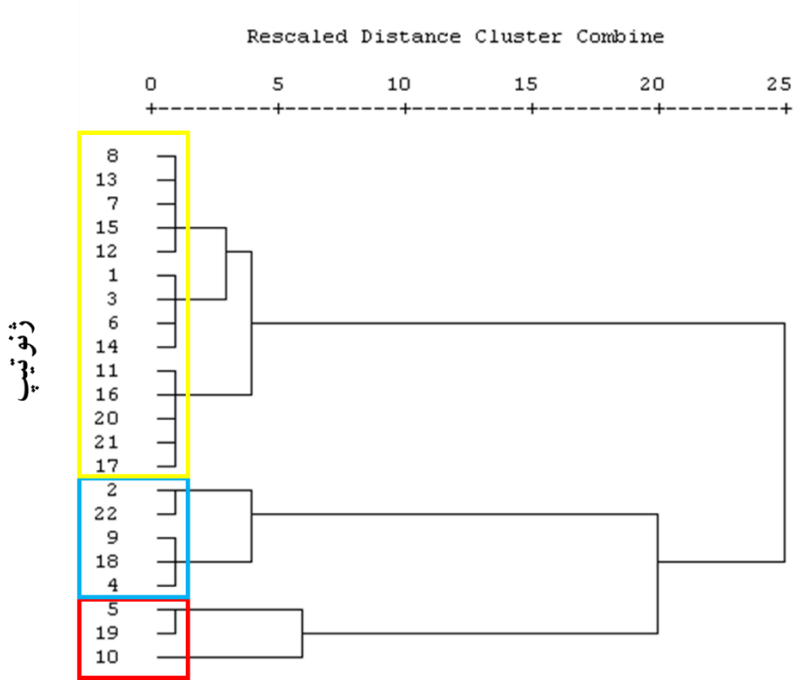
شکل ۳- نمودار سه بعدی انتخاب ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده تنش در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]



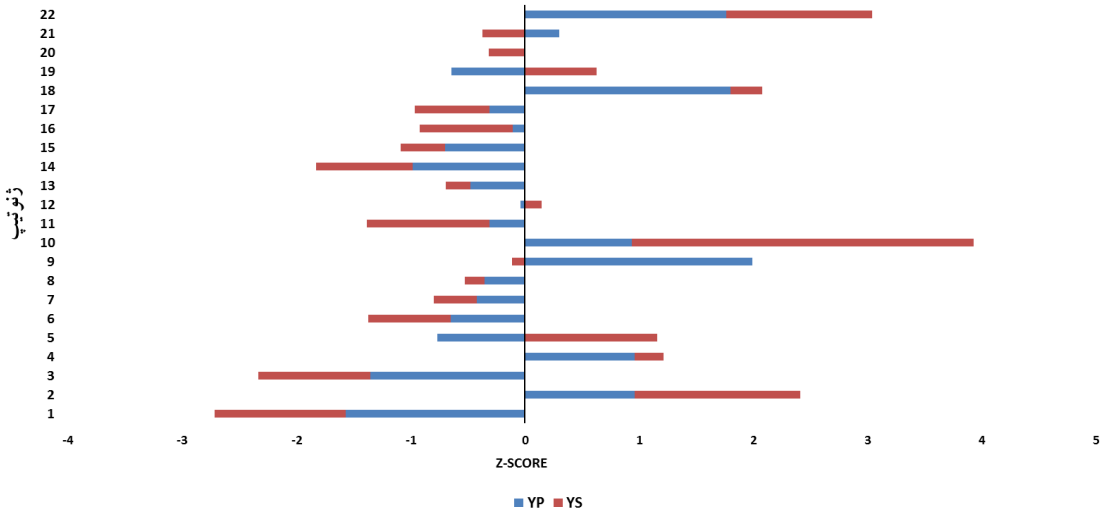
شکل ۴- نمایش بای‌پلات شاخص‌های تنش شوری × ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی براساس مؤلفه اول و دوم در مرحله گیاهچه‌ای



شکل ۵- دندروگرام به دست آمده با روش تجزیه خوشه‌ای Ward's برای شاخص‌های تحمل شوری ژنوتیپ گوجه‌فرنگی در مرحله گیاهچه‌ای

همبستگی بالایی با شاخص TOL و SSI نشان داد و برای انتخاب ژنوتیپ متحمل براساس آن باید مقادیر پایین این مؤلفه را در نظر گرفت. بر این اساس ژنوتیپ G۱۰ ژنوتیپ متحمل بوده و بعد از آن ژنوتیپ‌های G۲، G۲۲، G۱۹ و G۵ وضعیت مناسبی برای تحمل تنش شوری نشان دادند. پراکندگی ژنوتیپ‌ها در نمودار دو بعدی تأییدی برای وجود تنوع زیاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]



شکل ۶- میانگین‌های استانداردشده (Z-SCORE) در تجزیه خوشه‌ای برای شاخص‌هایYP و YS ژنوتیپ گوجه‌فرنگی در مرحله گیاهچه-ای

برای تحمل به تنش شوری در ژنوتیپ های گوجه‌فرنگی بود.

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس وزن خشک کل در شرایط بدون تنش و تنش شوری و شاخص‌های تحمل در (شکل ۵) نمایش داده شده است. نتایج ژنوتیپ‌ها را به سه گروه متمایز کرد. گروه اول ژنوتیپ‌های G۱۰، G۱۹ و G۵ بود. این ژنوتیپ‌ها واکنش بسیار خوبی در شرایط تنش (YS) داشتند و میزان تغییرات از محیط بدون تنش به تنش پایین بود. ژنوتیپ‌های G۲، G۲۲، G۹، G۱۸ و G۴ در گروه دوم قرار گرفتند. این ژنوتیپ شرایط خوبی در شرایط بدون تنش (YP) داشتند و میزان تغییرات از محیط بدون تنش به تنش زیاد بود. بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه سوم قرار داشتند که در شرایط تنش و بدون تنش مطلوب نبودند اما میزان تغییرات آنها از شرایط بدون تنش به شرایط تنش پایین بود و از نظر فیزیولوژی ویژگی مثبتی برای تحمل به تنش شوری داشتند (شکل ۶). در بررسی‌هایی Alam و همکاران (۲۰۲۱) و Sivakumar و همکاران (۲۰۲۰) از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای شاخص‌های تحمل در ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی استفاده کردند. براساس نتایج بای‌پلات آنها شاخص‌های تنش در دو گروه مجزا تقسیم‌بندی شدند. بین دو گروه همبستگی منفی و داخل گروه و بین شاخص‌های همبستگی مثبت مشاهده شد. در مطالعه حاضر نیز دو شاخص TOL و SSI در یک گروه و شاخص‌های دیگر در گروهی دیگر قرار گرفتند. در مطالعه Alam و همکاران (۲۰۲۱) ۲۷ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای با روش Ward's در پنج گروه مجزا قرار گرفتند که میزان تغییرات ماده خشک از محیط تنش به غیر تنش بین پنج گروه متفاوت بود.

نتیجه‌گیری

گوجه‌فرنگی در دسته گیاهان حساس به تنش شوری قرار دارد و نتایج متفاوتی برای تحمل تنش شوری در این گیاه گزارش شده است، از این‌رو معرفی یک شاخص در مراحل ابتدایی رشد برای تحمل تنش شوری و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل برای واردشدن به برنامه‌های به‌نژادی ضروری است. تحقیق حاضر برای غربالگری ۲۲ ژنوتیپ گوجه‌فرنگی برای تحمل تنش شوری، با در نظر گرفتن زیست‌توده تولیدی (وزن خشک کل گیاه در شرایط تنش و بدون تنش) در مرحله گیاهچه‌ای انجام شد. نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌دار آماری بین ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی مورد مطالعه برای دو صفت وزن خشک کل و وزن تر کل در دو شرایط تنش و بدون تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

شوری نشان داد. به طورکلی میانگین وزن خشک در شرایط تنش شوری ۲۶/۱ درصد کاهش نشان داد. صفت YP بیشترین همبستگی (۰/۹) را با شاخص MP و صفت YS بیشترین همبستگی (۰/۹۱) را با شاخص HM نشان داد و شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای شناسایی شدند. براساس روش گروه‌بندی سه بعدی، ترسیم بای‌پلات براساس تجزیه به مؤلفه اصلی و روش تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ G۱۰ ژنوتیپ مناسب برای تحمل تنش شوری برای واردشدن به برنامه‌های به‌نژادی تحمل تنش معرفی گردید.

تقدیر و تشکر

از سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر به خاطر تأمین هزینه این پروژه در قالب طرح مصوب ۰۰۰۸۱۰-۰۷۴-۰۳۱۰-۴۰-۳۴ (مصوب‌شده در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران) سپاسگزاری می‌شود. از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر به دلیل فراهم کردن امکانات پژوهشی این پروژه تشکر می‌شود و همچنین از دکتر علیرضا عسکری به دلیل مشاوره در آنالیزهای آماری تشکر می‌شود.

منابع

درویش‌نیا، فاطمه، پهلوانی، محمدهادی.، زینلی‌نژاد، خلیل، عزیزی، خسرو، و یاقری‌کیا، سعید (۱۳۹۹). تجزیه و تحلیل گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش کم آبی در شرایط استان لرستان. *مجله پژوهش‌های ژنتیک گیاهی*، *۷*(۱)، ۱۸-۱. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1893.1457

Alam, M. S., Tester, M., Fiene, G., & Mousa, M. A. A. (2021). Early growth stage characterization and the biochemical responses for salinity stress in tomato. *Plants*, *10*(4), 712. https://doi.org/10.3390/plants10040712.

Alian, A., Altman, A., & Heuer, B. (2000). Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Science*, *152*(1), 59-65. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00220-4.

Bouslama, M., & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance, *Crop Science*, *24*, 933-937. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.

Chaudhary, J., Khatri, P., Singla, P., Kumawat, S., Kumari, A., Vikram, A., & Deshmukh, R. (2019). Advances in omics approaches for abiotic stress tolerance in tomato. *Biology*, *8*(4), 90. https://doi.org/10.3390/biology8040090.

Dasgan, H. Y., Aktas, H., Abak, K., & Cakmak, I. (2002). Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Science*, *163*(4), 695-703. https://doi.org/10.1016/S0168-9452 (02)00091-2.

Derbali, W., Goussi, R., Koyro, H. W., Abdelly, C., & Manaa, A. (2020). Physiological and biochemical markers for screening salt tolerant quinoa genotypes at early seedling stage. *Journal of Plant Interactions*, *15*(1), 27-38. https://doi.org/10.1080/17429145.2020.172226.

Dombrowski, J. E. (2003). Salt stress activation of wound-related genes in tomato plants. *Plant Physiology*, *132*, 4, 2098-2107. https://doi: 10.1104/pp.102.019927.

Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taipei, Taiwan. https://doi:10.22001/wvc.72511.

Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*, 897-912. https://doi.org/10.1071/AR9780897.

Foolad, M. R. (2004). Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *76*(2), 101-119. https://doi.org/10.1023/B:TICU.0000007308.47608.88.

Gao, R., Duan, K., Guo, G., Du, Z., Chen, Z., Li, L., & Huang, J. (2013). Comparative transcriptional profiling of two contrasting barley genotypes under salinity stress during the seedling stage. *International Journal of Genomics*, *2013*. https://doi.org/10.1155/2013/97285.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, *77*, 523-531. https://doi.org/10.22034/IUVS.2015.15349.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

Jia, J., Liang, Y., Gou, T., Hu, Y., Zhu, Y., Huo, H., & Gong, H. (2020). The expression response of plasma membrane aquaporins to salt stress in tomato plants. *Environmental and Experimental Botany, 178*, 104190. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.10419.

Khursheda, P., Ahamed, K. U., Islam, M. M., & Haque, M. N. (2015). Response of tomato plant under salt stress: Role of exogenous calcium. *Journal of Plant Sciences, 10*(6), 222-233. https:// doi.10.3923/jps.2015.222.233.

Lopez-Delacalle, M., Silva, C. J., Mestre, T. C., Martinez, V., Blanco-Ulate, B., & Rivero, R. M. (2020). Synchronization of proline, ascorbate and oxidative stress pathways under the combination of salinity and heat in tomato plants. *Environmental and Experimental Botany, 183*, 104351. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104351.

Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A., & De Pascale, S. (2007) Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany 59*(3), 276-282. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.02.002.

Marium, A., Kausar, A., Ali Shah, S. M., Ashraf, M. Y., Akhtar, N., Akram, M., & Riaz, M. (2019). Assessment of cucumber genotypes for salt tolerance based on germination and physiological indices. *Dose-Response, 17*(4), 1559325819889809. https://doi.org/10.1177/155932581988.

Morton, M. J., Awlia, M., Al-Tamimi, N., Saade, S., Pailles, Y., Negrao, S., & Tester, M. (2019). Salt stress under the scalpel–dissecting the genetics of salt tolerance. *The Plant Journal, 97*(1), 148-163. https://doi. 10.25781/KAUST-4VZ1D.

Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: Bringing them together. *New phytologist, 167*(3), 645-663. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.

Pour Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P. K., & Siddique, H. M. (2019). iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences, 7*(7), e11278. https://doi.org/10.1002/aps3.11278.

Rossielle, A., & Hamblin, A. J. (1981). Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. *Crop Science, 21*, 1441-1446. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.

Sivakumar, J., Prashanth, J. E. P., Rajesh, N., Reddy, S. M., & Pinjari, O. B. (2020). Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. *Journal of Biosciences, 45*(1), 1-11. https://doi.org/10.1007/s12038-020-00111-9.

Wu, H., Guo, J., Wang, C., Li, K., Zhang, X., Yang, Z., & Wang, B. (2019). An effective screening method and a reliable screening trait for salt tolerance of *Brassica napus* at the germination stage. *Frontiers in Plant Science, 10*, 530. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00530.

Zhang, X., Bao, Z., Gong, B., & Shi, Q. (2020). *S-adenosylmethionine synthetase 1* confers drought and salt tolerance in transgenic tomato. *Environmental and Experimental Botany, 179*, 104226. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104226.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]

Evaluation of tomato genotypes based on salinity stress tolerance indices at seedling stage

Davood Kiani*[1], Mokhtar Zolfi Bavariani [1], Bahram Behzadi [1], Rahim Khademi [1], Mahyar Abedi [2]

[1] Agronomy and Horticulture Crops Research, Bushehr Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran
[2] Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Received: 14/10/2022, Accepted: 07/03/2023)

Abstract

Salinity is one of the most significant environmental stresses for sustainable crop production in the world's agricultural lands. Tomatoes are sensitive to salinity, and it is possible to create a tolerant genotype by evaluating the diversity among tomato genotypes under salt stress and using this diversity in tomato breeding programs. Based on this, in the current study, 22 tomato genotypes were evaluated under salt stress in a randomized complete block design with three replications. In this research, different stress tolerance indices were used to evaluate genotypes under salt stress. Stress Tolerance Index (STI), Tolerance Index (TOL), Geometric Mean Productivity (GMP), Mean Productivity (MP), Harmonic Mean (HM), Yield (Y), Yield Stability (YSI) and Stress Sensitivity (SSI) were calculated based on the total dry weight under control and stress conditions. The results of analysis of variance and mean comparison showed that there is a statistically significant difference between the studied tomato genotypes for two traits, total dry weight and total fresh weight, in two conditions of salt stress and control. These results confirmed the existence of diversity between genotypes in their morphological characteristics. The YP trait showed the highest correlation (0.9) with the MP index and the YS trait showed the highest correlation (0.91) with the HM index, and these indices are suitable for evaluating tomato genotypes under salt stress in the seedling stage. Based on bi-plot analysis, the G10 genotype was the most tolerant genotype, and after that, the G2, G22, G19 and G5 genotypes showed tolerance to salt stress. The cluster analysis divided the genotypes into three separate categories, which showed different behaviors during the transition from a non-stressed environment to a stressed environment. Based on tolerance indices and grouping methods, genotype G10 was identified as a tolerant genotype to salt stress, which can be used as a parent in hybridization and selection of tolerant genotypes.

Keywords: Cluster Analysis, Principal Component Analysis, Seedling, Stress, Tolerance

Corresponding author, Email: d.kiani1986@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-01-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.23.7]