Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 3, Autumn 2021 (97-111)
DOI: 10.22059/IJFCS.2020.296254.654685

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۳، پائیز ۱۴۰۰ (ص۱۱۱-۹۷)

ارزیابی پاسخ به تنش شوری در برخی ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

کبری مکاریان [۱]، رضا معالی امیری*[۲]، سید علی پیغمبری [۲]، سید محمد تقی طباطبایی[۳] و فاطمه دانشمند[٤]

۱و۲- دانشجوی دکتری و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، ٤-استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸./۱۱/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۸)

چکیده

به‌منظور ارزیابی میزان تحمل به شوری ۲۰ ژنوتیپ گندم، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو شرایط تنش شوری و بدون تنش (۱۰ دسی زیمنس بر متر) در شرایط مزرعه‌ای انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های گندم از نظر کلیه شاخص‌ها و عملکرد دانه برای هر دو شرایط تنش و نرمال نشان داد. تحلیل همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین عملکرد در دو شرایط نشان داد که شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک (HM) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول در دو محیط مناسب بودند. شاخص HM به‌دلیل دارا بودن همبستگی بالاتر با عملکرد در شرایط تنش، مهم‌ترین معیار انتخاب ارقام متحمل به شوری با پتانسیل عملکرد بالا شناخته شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس این شاخص‌ها، ۹۹/۸۷ درصد تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و تجزیه خوشه‌ای بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌ها را در چهار خوشه گروه‌بندی کرد. در مجموع و بر اساس تحلیل بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای و شاخص‌های تحمل به تنش، ژنوتیپ‌های هفت و هشت با بالاترین عملکرد (٤۷۲۵ و ٤۷۱٦ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش شوری، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: آماره چند متغیره، تنش غیر زیستی، تنوع ژنتیکی، شوری، گندم.

Response evaluation to salinity stress in some bread wheat genotypes using tolerance indices

Kobra Mokarian[1], Reza Maali-Amiri[2], Seyed Ali Peyghambari[2], Seyed Mohammad Taghi Tabatabai[3], Fatemeh Daneshmand[4]

1,2. Agronomy and Plant Breeding Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. 3. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Yazd, Iran. 4. Biology Department, Payam Noor University, Tehran, Iran.

(Received: January 21, 2020 - Accepted: April 6, 2020)

ABSTRACT

To assess salt tolerance of 20 wheat genotypes, a randomized complete block design (RCBD) experiment with four replications under salinity (10 ds/m) and non-stressed conditions in a field experiment was conducted. Analysis of variance showed the significant differences among genotypes for tolerance indices and grain yield under salinity and non-stressed conditions. The result of correlation between stress tolerance indices and yield means showed that Mean Productivity (MP), Geometric Mean Productivity (GMP), Stress Tolerance Index (STI) and Harmonic Mean (HM) were the most suitable indices for selection of productive genotypes. HM was selected as the best indices for salt tolerance due to its higher correlation with grain yield under salinity stress conditions. The result of factor analysis based on these indices explained 99.87% of data changes. Genotypes were categorized into four clusters by cluster analysis. Totally, based on Bi plot, cluster analyses and tolerant indices, 7 and 8 genotypes having the highest yield (4725 and 4716 kg/ha, respectively), were determined as tolerant genotypes under salinity stress conditions.

Keywords: Abiotic stress, genetic diversity, multivariate statistics, salinity, wheat.

مقدمه

تنش شوری یکی از فاکتورهای محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در مناطق مختلف جهان محسوب می‌شود (Chaves *et al*., 2011). گندم نان (*Triticum aestivum* L.) از مهم‌ترین گیاهان زراعی در جهان و ایران است و به‌عنوان مهم‌ترین منبع تامین کربوهیدرات انسان، غذای حدود نیمی از مردم دنیا را تشکیل می‌دهد

* Corresponding author E-mail: rmamiri@ut.ac.ir

و در اغلب کشورهای جهان کشت می‌شود (Nour-Mohamadi *et al.,* 2009). حدود ۲۰ درصد از اراضی تحت آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک جهان با مشکل شوری مواجه هشتند و در اثر تغییرات آب و هوایی و کاهش نزولات آسمانی، شوری در این مناطق در حال گسترش می‌باشد (Tammam *et al*., 2008). در کشور ایران، حدود ۲۴ میلیون هکتار از اراضی با درجات مختلفی تحت تاثیر شوری قرار دارد که در اقلیم‌های مختلف کشور پراکنده شده‌اند(Pazira & Sadegzadeh, 1998). خاک وقتی به‌عنوان شور طبقه-بندی می‌شود که هدایت الکتریکی عصاره اشباع (ECe) آن، بیش از چهار دسی زیمنس بر متر (معادل حدود ۴۰ میلی‌مولار) نمک کلرید سدیم و فشار اسمزی حدود ۲- مگاپاسگال باشد (USDA, 2008). نتایج قریب به اتفاق مطالعات شوری نشان داده است که بالا بودن غلظت نمک در محلول خاک، عملکرد گیاهان زراعی را به شدت کاهش می‌دهد (Ranjbar & Banakar, 2013; Pirasteh-Anosheh, 2015). گندم نان نسبت به تنش شوری، گیاهی نیمه متحمل است (Munns *et al.,* 2006) و تنش شوری، باعث کاهش پتانسیل عملکرد از طریق کاهش تعداد پنجه‌های بارور و کاهش تعداد دانه-ها می‌شود (El-Handawy, 2004). از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های به‌نژادی گندم در سراسر جهان، افزایش عملکرد و کیفیت گندم در شرایط تنش و عدم تنش برای پاسخگویی به جمعیت روز افزون جهان است (Vishwakarma *et al.,* 2014). در اثر تنوع ژنتیکی گسترده و وجود ارقام بومی، اصلاح گیاهان برای تحمل به شوری، یکی از موثرترین روش‌ها برای بهبود عملکرد محصول در نواحی شور است (Zhu *et al*., 2016). در این فرایند، یکی از ساده‌ترین روش‌ها، شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل، تحت شرایط تنش شوری است (Singh *et al*., 2008؛ Zhu *et al*., 2016). فقدان روش‌های قابل اعتماد برای غربال‌کردن در شرایط مزرعه‌ای را شاید بتوان بزرگترین مشکل در بهبود تحمل به شوری گیاهان زراعی دانست (Munnes & James, 2003). امروزه تلاش برای یافتن معیارهایی که بتوان از آن‌ها به‌طورموثری در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بهره جست، ادامه دارد. با این حال، احتمال این‌که ژن‌های تحمل به تنش در یک گیاه متمرکز و توسط روش‌های فیزیولوژیک شناخته شود بسیار اندک است. بنابراین، پایداری و ثبات عملکرد و اجزای آن تحت شرایط تنش همچنان از جمله شاخص‌های اصلی انتخاب در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی به شمار می‌رود (Abdemishani & Shahnejate-Boshehri,1996). پایداری و ثبات عملکرد، نشان دهنده اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در طول مدت تنش است (Nabipur *et al.,* 2001). از اهداف راهبردی در برنامه‌های به نژادی، معرفی یک یا چند ژنوتیپ سازگار برای کشت در یک یا چند منطقه است. در این راستا، عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ارزیابی می‌شود. پایداری عملکرد یک ژنوتیپ، از طریق عدم تغییرات قابل ملاحظه یک ژنوتیپ در محیط‌هایی که دارای شرایط محیطی یکسان نباشد ارزیابی می‌شود (Rosielle & Hamblin, 1981). به عبارت دیگر، هدف اصلی اجرای مقایسه عملکرد در مناطق مختلف، شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش و بدون تنش می‌باشد (Fernandez, 1992) . پژوهش‌ها، ارقام یا ژنوتیپ‌ها را بر اساس واکنش آن‌ها به شرایط محیطی واجد تنش و بدون آن، به چهار گروه A، B، C و D تقسیم کردند. گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط، عملکرد بالایی دارند؛ گروه B دارای ژنوتیپ‌هایی است که در محیط بدون تنش عملکرد زیاد و در محیط تنش عملکرد کمی دارند؛ گروه C دارای ژنوتیپ‌هایی است که در محیط تنش عملکرد بالا و در محیط بدون تنش عملکرد کمی دارند و گروه D نیز شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط عملکرد کمی دارند (Fernandez, 1992). مناسب‌ترین معیار جهت انتخاب در محیط‌های تنش، شاخصی است که قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A باشد (Fernandez, 1992). این شاخص‌ها از طریق شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش و بدون تنش در دستیابی به نمونه‌های برتر موثرند (Jafari *et al.,* 2009). تاکنون شاخص‌های مختلفی

(TOL[1]، MP[2]، GMP[3]، STI[4]، HM[5]، SSI[6] و YSI[7]) برای بررسی واکنش ژنوتیپ‌های متفاوت به شرایط محیطی مختلف بر اساس روابط بین عملکرد گیاه تحت شرایط بدون تنش و تنش ارائه شده است. شاخص تحمل (TOL) از اختلاف عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به‌دست آمده است و مقادیر بیشتر آن، نشان دهنده پایداری کمتر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف می‌باشد؛ بنابراین، انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کمتر TOL انجام می‌شود (Rosielle & Hamblin, 1981). شاخص متوسط بهره‌وری MP، متوسط تولید یک رقم را در دو محیط تنش و بدون تنش نشان می‌دهد. هر چه میزان این شاخص بزرگتر باشد، ژنوتیپ مورد بررسی متحمل‌تر خواهد بود (Rosielle & Hamblin, 1981). با توجه به همبستگی بالای تحمل به شرایط تنش و میانگین عملکرد در محیط‌های مختلف، شاخص میانگین حسابی (MP) می‌تواند به‌عنوان معیار مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها استفاده شود (Rosiell & Hambline, 1981). مقدار پایین SSI، نشان دهنده تغییرات اندک عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش است؛ بنابراین میزان کم آن، پایداری بیشتر ژنوتیپ را نمایش می‌دهد (Murer & Fisher, 1978). STI معیار مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها جهت دستیابی به عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌باشد (Fernandez, 1992) . این شاخص، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش هستند را از سایر گروه‌ها جدا می‌کند. بر اساس شاخص میانگین هندسی بهره وری (GMP)، عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود، به‌طوری‌که این شاخص، حساسیت کمتری نسبت به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و نرمال دارد (Kristin et al, 1997). شاخص پایداری عملکرد (YSI)، عملکرد یک ژنوتیپ را در شرایط تنش ارزیابی می‌کند. ارقامی با YSIبالاتر در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد بالاتری دارند (Bouslama & Schapaugh, 1984). با این وجود در مطالعه Sio-Se Mardeh *et al.* (2006) ارقامی با YSI بالاتر، حداقل عملکرد را در شرایط غیرتنش و بالاترین عملکرد را تحت شرایط تنش نشان داده‌اند. هر چه شاخص میانگین هارمونیک (HM) بزرگتر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود. در مطالعه Mohammadi *et al.* (2005) شش رقم گندم دارای تحمل به شوری متفاوت و نسل‌های F1 حاصل از آن‌ها در دو شرایط تنش شوری و بدون تنش بررسی قرار گرفتند و مشاهده شد که رابطه ژنتیکی تحمل به شوری با شاخص حساسیت به تنش معنی‌دار بود. در مطالعه دیگری، شاخص تحمل به تنش STI به‌عنوان شاخص موثر در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم در شرایط شور معرفی شد (Dehdari *et al.,* 2005) . نتایج آزمایش Najaphy & Garavandi (2011) در ۲۷ ژنوتیپ گندم نشان داد که دو شاخص GMP و STI، شاخص‌های مناسب برای تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها و دو شاخص SSI و TOL شاخص‌های مطلوب در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و دارای عملکرد بالا در محیط تنش (گروه C) می‌باشند. نتایج آزمایش Bchini *et al.,* (2001) بر روی ۱۴ ژنوتیپ جو نشان داد که سه شاخص GMP، STI و MP در شرایط شوری متوسط برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A مناسب هستند و در شرایط تنش شدید، دو شاخص SSI و ضریب رگرسیون (b) برای تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل مناسب هستند. مناسب ترین شاخص آن است که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، دارای همبستگی معنی‌داری با عملکرد باشد. (Farshadfar *et al.,* 2002; Panthuwan *et al.,* 2002). هدف از انجام این تحقیق، بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم به تنش شوری بر اساس معیارهای عملکرد و اجزاء عملکرد در شرایط مزرعه و شناسایی ژنوتیپ‌های گندم با عملکرد بالا تحت تنش شوری بر اساس شاخص‌های تحمل بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ گندم نان (جدول ۱) شامل ۱۷ لاین امیدبخش و سه رقم شاهد نارین، سیستان و

[1] Tolerance Index
[2] Mean Productivity Index
[3] Geometric Mean Productivity
[4] Stress Tolerance Index
[5] Harmonic Mean of Productivity
[6] Stress Susceptibility Index
[7] Yield Stability Index

برزگر (برگرفته از نتایج برنامه اصلاحی ارقام متحمل به شوری گندم نان موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر)، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در دو شرایط تنش شوری و بدون تنش (۱۰ دسی زیمنس بر متر) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد در چهار تکرار انجام شد. این مرکز دارای مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۸۶ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۹۵ دقیقه شرقی با بارش سالانه ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۶۰۹ متر از سطح دریا است. قبل از شروع آزمایش، از خاک مزرعه نمونه‌برداری مرکب انجام گرفت و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک محل کاشت تعیین شدند (جدول ۲). بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم دی سولفات آمونیوم قبل از کاشت به خاک مزرعه اضافه شد. ۲۵۰ کیلوگرم کود اوره نیز جهت اضافه کردن به خاک به صورت تقسیطی در سه مرحله پنجه‌دهی، ساقه‌دهی و پر شدن دانه در نظر گرفته شد. آبیاری زمین از نوع کرتی بود و در شرایط نرمال، آبیاری با آب قنات با EC حدود ۱/۳ دسی زیمنس بر متر و در شرایط شوری، با آب چاه با EC حدود۱۰ دسی زیمنس بر متر انجام شد. زمینی که به تیمار شوری اختصاص یافت، در چندین سال گذشته با آب شور (EC بالاتر از چهار دسی زیمنس بر متر) آبیاری شده بود و دارای خاک شور بود؛ بنابراین عملیات تسطیح در آن به دقت انجام شد تا در آبیاری کرتی با آب شور از تشکیل پشته‌های نمک و تاثیر آن بر آزمایش جلوگیری شود. کاشت بذرها با قوه نامیه مناسب در کرت‌های آزمایشی شش ردیفی به طول ۲/۵ متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر، با دست و با توجه به وزن هزار دانه ۴۰۰ بذر در مترمربع در شرایط نرمال و ۵۰۰ بذر در شرایط شور کشت شد و پس از سبز شدن بذرها، تراکم نهایی ۲۴۰ بوته در مترمربع حفظ شد. در طول فصل رشد و در هر دو شرایط جهت تعیین شوری خاک در منطقه توسعه ریشه، از خاک و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام گرفت. هر ۶ هفته یک‌بار نمونه‌گیری و آزمایش خاک انجام شد؛ به‌طوری که متوسط میزان شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد در شرایط معمولی و شور، به‌ترتیب ۱/۳ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود. در آبیاری با آب شور باید حداقل مقدار آب مورد نیاز برای شستن نمک از خاک را رعایت کرد. این بدان معناست که همیشه باید کمی بیشتر از مقدار مورد نیاز گیاه، آبیاری نمود تا نمک‌هایی که در زیر منطقه رشد ریشه قرار دارند، شسته شوند. آبشویی با میزان ناکافی آب، قابل انجام نمی‌باشد؛ هرچند که استفاده از آب اضافی ممکن است منجر به بروز مشکلاتی در ذخیره آب و سیستم زهکشی منطقه شود. همچنین، کاربرد آب اضافی در فرآیند آبشویی ممکن است منجر به خروج عناصرغذایی مورد نیاز گیاهان مانند یون‌های محلول، از ناحیه رشد ریشه شود (Anapail, 2001). نیاز به آبشویی از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$LR\ (\%) = ECiw/(5ECth-ECiw) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، LR: آب نشت یافته، ECiw : میزان EC آب آبیاری وECth : میزان آستانه شوری اندازه گیری شده در عصاره اشباع خاک است.

میزان کل آب آبیاری مورد نیاز از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$AW = ET/(1-LR) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، AW: کل آب مورد نیاز و ET: میزان تبخیر و تعرق گیاه است (Corwin *et al*., 2009).

در این پژوهش و با استفاده از ضریب آبشویی، علاوه بر آب آبیاری، حدود ۲۵ درصد آب بیشتری به زمین داده شد تا شوری خاک در حدود ۱۰ دسی زیمنس بر متر (EC آب آبیاری) حفظ شود. کلیه عملیات داشت شامل کوددهی، وجین علف‌های‌هرز و آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. در پایان آزمایش، یک متر مربع از هر کرت با حذف اثر حاشیه برداشت شد و صفات ارتفاع بوته (cm)، عملکرد دانه (kg/ha)، وزن هزاردانه (gr)، طول سنبله (cm)، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله (gr)، روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد. ارزیابی تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها با استفاده از میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) و با استفاده از شاخص‌های تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و

شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین هارمونی (HM) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص YSI مطابق با جدول ۳ محاسبه شد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های گندم استفاده شده در این آزمایش
Table1. Wheat genotypes used in the experiment

NO	Genotype	Pedigree
1	MS-97-1	Narin
2	MS-97-2	Sistan
3	MS-97-3	Barzegar
4	MS-97-4	Arke/5/Seri*3 Rl 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92
5	MS-97-5	Arke/5/Seri*3 Rl 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92
6	MS-97-6	Arke/5/Seri*3 Rl 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92
7	MS-97-7	Sakha & Darab # 2//1-66-22/3/Berkut
8	MS-97-8	Sakha & Darab # 2//1-66-22/5/Seri*3//RL6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92
9	MS-97-9	Sakha & Darab # 2//1-66-22/5/Seri*3//RL6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92
10	MS-97-10	Bam//Kauz"s"/Azd/3/1-72-92/col no.3617// Marvdasht
11	MS-97-11	Marin Huntsman//Gds/3/ Aldan/last/4/1-66-22/Inia/5/W462//vee/koel/3/peg
12	MS-97-12	Ombo/Alamo //Mahooti/3/1-66-22/4/Bam/5/Kauz/Stm//Pastor
13	MS-97-13	GF- gy54/Attila//Bam
14	MS-97-14	GF- gy54/Attila//Bam
15	MS-97-15	Ombo/Almo//Mahooti/3/1-66-22/4/Bam
16	MS-97-16	S-95-16
17	MS-97-17	S-94-2
18	MS-97-18	S-94-7
19	MS-97-19	N-93-12
20	MS-97-20	N-95-4

جدول ۲- نتایج آزمون خاک در شرایط نرمال و شور
Table 2. Soil test results under non-stressed and salinity conditions

Stress	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	pH	EC (ds/m)	C (%)	Soil texture		
							Clay (%)	(%) Silt	Sand (%)
Control	0.147	14.1	250	8.3	1.37	1.53	30	36	34
Salt	0.124	13.3	241.3	8.2	10.11	1.43	31	35	33

جهت تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد، از نرم افزار SAS 9.4 استفاده شد (SAS, 2009). به‌منظور ارزیابی بهتر روابط بین شاخص‌ها با عملکرد در هر دو شرایط، نرم‌افزار GGE-biplot مورد استفاده قرار گرفت (Yan & Kang, 2003) و پس از انجام تجزیه به مولفه-های اصلی، نمودار بای‌پلات مربوطه رسم شد. از نرم‌افزار SPSS Ver. 21 (SPSS, 2012) نیز برای انجام تجزیه خوشه‌ای جهت گروه‌بندی و شناسایی ارقام متحمل و حساس استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان ارتفاع، وزن هزاردانه، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه، به‌ترتیب در شرایط بدون تنش در ژنوتیپ‌های چهار، ۱۰، ۱۱، ۱۷، ۱۱ و پنج مشاهده شد و بیشترین میزان صفات فوق در شرایط تنش شوری به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۹، ۸، ۱۱، ۱۷، ۱۱ و هشت به‌دست آمد (جدول ۶، ۷). یکی از بهترین عوامل تعیین‌کننده تحمل واقعی گیاهان به تنش، اندازه‌گیری عملکرد آن‌ها است (Munns & Tester, 2008). به احتمال زیاد، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها در تجمع وزن خشک بافت‌های گیاهی و کاهش آن در شرایط شوری ، افزایش هزینه انرژی متابولیکی و کاهش جذب کربن خالص را نشان می‌دهد که مرتبط با سازگاری ژنوتیپ‌ها با تحمل شوری می-باشد (James *et al*., 2002; Netondo *et al*., 2004). کاهش در عملکرد احتمالا به تفاوت در بازدارندگی

فتوسنتز توسط شوری در گونه‌ها و یا کمبود ریبولوز ۱ و ۵- بیس فسفات کربوکسیلاز، کاهش تولید مجدد ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات و یا حساسیت فتوسیستم II به کلرید سدیم مربوط می‌باشد که همگی منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شوند (Netondo *et al*., 2004). از دیگر دلایل کاهش رشد، کاهش هدایت روزنه‌ای بر اثر تنش شوری و کاهش فتوسنتز می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود که تحت تنش شوری، تولید گیاه کاهش یابد و این کاهش بر عملکرد بیولوژیک اثر گذارد. از دیگر دلایل کاهش رشد و عملکرد بوته در شرایط تنش شوری، مهار توان جذب یون‌های غذایی، در اثر جذب فراوان سدیم و کلر از محلول خاک است که می‌تواند در کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش شوری نقش اساسی ایفا کند (James *et al*.,2002).

تجزیه واریانس ساده به تفکیک در هر دو شرایط تنش شوری و بدون تنش نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین ارقام از نظر صفات بررسی شده بود. در تجزیه واریانس مرکب دو شرایط آزمایش برای صفات اجزای عملکرد، صفات فنولوژیک و عملکرد دانه نیز حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام در سطح احتمال یک درصد بود که بیانگر تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای تحمل به شوری در بین ارقام گندم بود (جدول ۴).

تنش شوری باعث کوتاه شدن دوره رشد گیاه شد، به‌طوری‌که در کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش شوری تعداد روز تا گلدهی کاهش یافت (جدول ۵).

جدول ۳- روابط شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Table 3. Tolerance and sensitivity indices equations

Index	Calculation formula	Reference
TOL	$TOL = Y_P - Y_S$	Hossain *et al*., 1990
MP	$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2}$	Bouslama & Schapaugh, 1984
GMP	$GMP = \sqrt{(Y_P)(Y_S)}$	Sio-Semardeh *et al*., 2006
STI	$STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\bar{Y}_P)^2}$	Gavuzzi *et al*., 1997
HM	$HM = \frac{2 \times Y_P \times Y_S}{Y_P + Y_S}$	Rosielle & Hamblin, 1981
SSI	$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}\right)}$	Fischer & Maure, 1978
YSI	$YSI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_P}$	Bouslama & Schapaugh, 1984

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده گندم در دو شرایط تنش شوری و بدون تنش

Table 1. Combined ANOVA of measured traits for bread wheat under non-stressed and salinity conditions

		MS							
S.O.V	df	Height	1000 kernel weight	Spike length	No. spikelet/spike	No. seed/spike	Grain yield	Days to heading	Days to physiological maturity
Place	1	10497.6**	653.88**	30.713**	193.160**	478.17**	25283650.1**	2616.3**	7821.3**
Replication (Place)	6	198.094	18.511	0.594	0.464	23.706	171775.7	11.940	40.656
Genotype	19	70.494**	32.532**	2.333**	2.857*	84.720**	3099465.9**	70.508**	16.706**
G×E	19	99.705**	18.949**	0.645^{ns}	3.142**	12.652*	1125615.4**	20.404^{ns}	7.127^{ns}
Error	114	26.094	6.648	0.678	1.432	4.037	384422.5	21.815	7.672
CV (%)		6.05	6.73	8.53	8.13	11.73	14.18	5.82	2.21

^{ns}، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گندم در شرایط تنش و بدون تنش

Table 5. Mean comparison of measured traits of bread wheat under stressed and non-stressed conditions.

Genotype	Spike length	Days to heading	Days to physiological maturity
1	9.70b-e	80.71abc	125.92abc
2	9.61b-e	79.71abc	124.58bcd
3	9.80b-e	81.75abc	126.29ab
4	9.20c-f	81.92ab	125.25abc
5	9.71b-e	82.29ab	126.50ab
6	9.29c-f	79.92abc	125.08abc
7	10.04a-d	83.21ab	126.83ab
8	10.30ab	82.83ab	126.83ab
9	9.60b-e	80.75abc	124.92a-d
10	9.71b-e	78.25bcd	123.92bcd
11	10.90a	82.25ab	124.75a-d
12	10.14abc	82.5ab	124.92a-d
13	9.29c-f	82.88ab	124.96a-d
14	9.21c-f	81.67abc	124.75a-d
15	9.64b-e	84.33a	128.04a
16	9.94b-e	76.33cd	124.00bcd
17	10.33ab	74.08d	122.71cd
18	9.00ef	78.46bcd	125.42abc
19	8.56f	78.71a-d	124.46bcd
20	9.08efd	73.58d	121.71d
Mean	9.65	80.31	125.09

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Columns with at least one common letter are not significantly different based on the Duncan test at 5% of probability level

کاهش پارامترهای مذکور تحت تنش شوری، شاید در اثر عدم توازن میزان تنظیم کننده‌های رشدی نظیر اکسین، جیبرلین و سیتوکینین و افزایش مواد بازدارنده مانند ABA باشد (Stark & Czajka, 1981). کاهش عملکرد، نشان دهنده اثر منفی شوری بر بافت‌ها، کاهش میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ و کاهش سطح فتوسنتز کننده (James *et al*., 2002; Netondo *et al*., 2004) است. اغلب مطالعات صورت گرفته، کاهش زیست‌توده را در تحت تنش شوری نسبت به شرایط شاهد گزارش کرده‌اند (Husain *et al*., 2003). در مطالعه Sardouie-Nasab *et al.* (2013) تحت شرایط مزرعه، شوری سبب کاهش صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه شد و بین ژنوتیپ‌ها نیز از نظر عملکرد و اجزای عملکرد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بر اساس نتایج تحقیقات Colmer *et al.* (2006) تنش شوری از طریق افزایش میزان عقیمی و تعداد دانه‌های پوک، کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد کرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، برخی ژنوتیپ‌ها مانند ژنوتیپ هفت و هشت، شرایط تنش را به‌طورمطلوبی تحمل کردند و صفات مورد بررسی در آن‌ها در شرایط تنش، کاهش کمتری داشتند.

محاسبه شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان داد که ژنوتیپ‌های شش، هفت، هشت و ۱۰ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از حساسیت کمتری برخوردار بودند (جدول ۸). انتخاب بر اساس شاخص SSI، به گزینش ارقام متحمل به تنش، ولی با پتانسیل عملکرد پایین منجر می‌شود (Fischer & Maurer, 1978). این شاخص قادر به تفکیک ارقام متحمل به تنش از ارقام با پتانسیل عملکرد پایین نیست. به عبارت دیگر دو ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایین، در صورت داشتن اختلاف عملکرد

یکسان در شرایط تنش و عدم تنش برای هر دو ژنوتیپ، مقدار SSI یکسانی خواهند داشت. به همین دلیل، انتخاب بر اساس SSI باعث کاهش پتانسیل عملکرد در محیط‌های مناسب و بدون تنش می‌شود (Schinder *et al*., 1997).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گندم در شرایط بدون تنش

Table 6. Mean comparison of measured traits of bread wheat under non-stressed conditions

Genotype	Height (cm)	1000 kernel (gr) weight	No. spikelet/spike	No. seed/spike	Grain yield (kg/ha)
1	96.7a-d	43.4b	17.3ab	45.1a-d	6060.0ab
2	98.3abc	39.3f-i	15.5a-e	39.6cde	6013.3ab
3	95a-e	36.8j	15.9a-e	45.4a-d	6506.6a
4	101.7a	40.3c-f	15.4b-e	41.5b-e	5413.3a-e
5	100ab	38.1hij	14.9cde	43.9a-d	6360.0a
6	96.7a-d	38.5ghi	15.6a-e	46.2abc	5093.3b-f
7	93.3a-f	40.9c-f	15.2b-e	43.6a-d	5093.3b-f
8	90c-g	41.7c	16.5abc	41.2b-e	5146.7b-f
9	91.7b-g	40.5c-f	16a-e	42.8a-d	5760.0abc
10	96.7a-d	45.1a	16.2a-d	46.7abc	5786.7abc
11	96.7a-d	39.2f-i	17.5a	50.3a	6140.0ab
12	88.3d-g	39.4e-i	15.8a-e	46.5abc	5826.7ab
13	86.7efg	40.1c-g	15.4b-e	40.8e-d	5520.0a-e
14	91b-g	40.4c-f	16.2a-d	45.7a-d	5646.7a-d
15	90c-g	41cde	15.5a-e	42.7a-d	4553.3def
16	86.7efg	39.7d-h	15.4b-e	37.5de	4426.7ef
17	85fg	41.1cd	17.7a	49.1ab	4680.0c-f
18	83.3g	43.9ab	16a-e	47.5abc	6053.33ab
19	86.7efg	37.8ij	14.3de	40cde	5693.3abc
20	95a-e	39.6d-h	13.9e	34.5e	4013.3f
Mean	92.5	40.3	15.8	43.5	5489.3

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Columns with at least one common letter are not significantly different based on the Duncan test at 5% of probability level

در مورد شاخص تحمل به تنش (TOL) که مقادیر کمتر آن نشان دهنده تحمل نسبی ارقام است، به‌ترتیب ژنوتیپ هفت و هشت، کمترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص دادند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند. لازم به ذکر است که گزینش بر اساس سطوح پایین شاخص TOL ، منجر به انتخاب ژنوتیپ-هایی می‌شود که عملکرد آن‌ها در محیط دارای تنش نسبت به محیط بدون تنش کاهش کمتری داشته باشد. پایین بودن این شاخص، لزوماً به معنی بالا بودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نیست (Hossain *et al*., 1990). این احتمال وجود دارد که عملکرد رقمی در شرایط بدون تنش، کم و در شرایط تنش با کاهش کمتری همراه باشد و در نتیجه موجب کوچک شدن شاخص TOL شود که در این شرایط، رقم مربوطه به‌عنوان رقم متحمل معرفی می‌شود (Rosielle & Hamblin, 1981). شاخص میانگین بهره-وری (MP)، متوسط عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و تنش است و ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بیشتری برای این شاخص داشته باشند، متحمل‌تر هستند (Rosielle & Hamblin, 1981). انتخاب بر اساس MP، باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. بر اساس شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۲، ۹، ۱۰، ۳، ۷، ۸ و ۵، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ۱۶، ۱۷ و ۲۰، حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). بر اساس شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) نیز ارقام ۱۰، ۱۱، ۹ ، ۳ با کسب بیشترین مقادیر این شاخص، به‌عنوان متحمل‌ترین و دو ژنوتیپ ۱۶ و ۲۰ به‌عنوان حساسترین ارقام ارزیابی شدند. شاخص GMP بر خلاف MP، به مقدار نسبتاً زیاد Yp و Ys حساسیت ندارد و در مقایسه با MP، دارای گرایش به سمت بالا نیست (Fernandez, 1992). شاخص تحمل به تنش (STI) برای ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۱ بیشتر از ژنوتیپ‌های دیگر بود (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گندم در شرایط تنش شوری

Table 7. Mean comparison of measured traits of bread wheat under salinity conditions

Genotype	Height (cm)	1000 kernel (gr) weight	No. spikelet/spike	No. seed/spike	Grain yield (Kg/ha)
1	79.3ab	40a	13bc	37.2ab	4245.8cd
2	75abc	37.9ab	12.8bc	37.7ab	3658.3g
3	78.3ab	34.6ab	13.1bc	39.2ab	3933.3f
4	73.3bc	36.5ab	13.3abc	39.7ab	4008.3ef
5	77ab	37ab	14.2ab	42.7a	4116.7de
6	73.7bc	36.9ab	14.5ab	42.3a	4150.0cd
7	77.3ab	39a	14.4ab	43.2a	4725.0a
8	77.3ab	40a	13.6abc	40.6a	4716.7a
9	80ab	37.5ab	13.7abc	43a	4508.3b
10	77ab	37.5ab	12c	39.3ab	4704.1a
11	78ab	35.6ab	14.3ab	45a	4416.7b
12	78ab	35.5ab	14.4ab	41.8a	4283.3c
13	76.7ab	35.1ab	12.7bc	39ab	4154.1cd
14	75.3abc	35.4ab	13.6abc	41.8a	3941.7f
15	74.7abc	26.4c	15a	38.4ab	3479.1h
16	75abc	36.5ab	14.3ab	36.8ab	2587.5j
17	69cd	38.4ab	13.5abc	42.4a	3062.5i
18	82a	36.8ab	13.4abc	41.7a	3958.3f
19	83a	32.6b	13.2abc	38.1ab	3420.8h
20	66.3d	36.8ab	13.4abc	32b	2950.0i
Mean	76.3	36.3	13.6	40.1	3951.0

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Columns with at least one common letter are not significantly different based on the Duncan test at 5% of probability level.

جدول ۸- میانگین عملکرد و شاخص‌های حساسیت و متحمل به تنش در ژنوتیپ‌های گندم

Table 8. Wheat genotypes Mean grain yield and stress tolerance and sensitivity indices

Genotype	Yp (kg/ha)	Ys (kg/ha)	TOL	MP	GMP	STI	HM	SSI	YSI
1	6060	4245.83	1814.17	5152.9	5072.45	0.854	4993.24	1.056	0.701
2	6013.33	3658.33	2355	4835.8	4690.29	0.73	4549.12	1.381	0.608
3	6506.67	3933.33	2573.33	5220.0	5058.94	0.849	4902.85	1.395	0.605
4	5413.33	4008.33	1405	4710.8	4658.16	0.72	4606.07	0.915	0.74
5	6360	4116.67	2243.33	5238.3	5116.83	0.869	4998.15	1.244	0.647
6	5093.33	4150	943.33	4621.7	4597.54	0.701	4573.53	0.653	0.815
7	5093.33	4725	368.33	4909.2	4905.71	0.799	4902.26	0.255	0.928
8	5146.67	4716.67	430	4931.7	4926.98	0.806	4922.29	0.295	0.916
9	5760	4508.33	1251.67	5134.2	5095.88	0.862	5057.88	0.766	0.783
10	5786.67	4704.17	1082.5	5245.4	5217.42	0.903	5189.57	0.66	0.813
11	6140	4416.67	1723.33	5278.3	5207.53	0.9	5137.67	0.99	0.719
12	5826.67	4283.33	1543.33	5055.0	4995.75	0.828	4937.2	0.934	0.735
13	5520	4154.17	1365.83	4837.1	4788.63	0.761	4740.67	0.873	0.753
14	5646.67	3941.67	1705	4794.2	4717.76	0.739	4642.57	1.065	0.698
15	4553.33	3479.17	1074.17	4016.3	3980.18	0.526	3944.43	0.832	0.764
16	4426.67	2587.5	1839.17	3507.1	3384.38	0.38	3265.96	1.465	0.585
17	4680	3062.5	1617.5	3871.3	3785.83	0.476	3702.29	1.219	0.654
18	6053.33	3958.33	2095	5005.8	4895.01	0.795	4786.64	1.221	0.654
19	5693.33	3420.83	2272.5	4557.1	4413.16	0.646	4273.77	1.408	0.601
20	4013.33	2950	1063.33	3481.7	3440.83	0.393	3400.48	0.934	0.735
Mean	5489.33	3951.04	1538.29	4720.2	4647.46	0.73	4576.33	0.98	0.72

این ژنوتیپ‌ها ضمن داشتن بالاترین مقادیر شاخص STI در بین ارقام، از نظر میانگین عملکرد نیز در هر دو شرایط محیطی در گروه ارقام پرمحصول قرار داشتند. بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۲۰ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. Dehdari *et al* (2006) نیز در بررسی ارقام گندم، از STI به‌عنوان مهم‌ترین شاخص تحمل به شوری برای شناسایی ارقام دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش استفاده کرده است. انتخاب شاخص‌های MP، GMP و STI در گزینش ارقام گندم در تنش شوری توسط Rousta & Ranjbar (2010) نیز استفاده شده است. بر اساس شاخص میانگین هارمونی، ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۱ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های ۷ و ۸ از نظر شاخص YIS (شاخص پایداری عملکرد) به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در کل و بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، چهار

ژنوتیپ ۷، ۸، ۱۰ و ۱۱ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها کاندید شدند.

نتایج حاصل از ضرایب همبستگی ساده بین شاخص های تحمل و حساسیت به شوری و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش شوری در جدول ۹ ارایه شده است. عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با شاخص‌های MP، GMP، STI و HM نشان داد، درحالی‌که بین SSI و عملکرد دانه در شرایط تنش، همبستگی منفی (0.66^{**}) مشاهده شد (جدول ۹). محققان دیگر، بالاترین همبستگی را بین شاخص‌های HM و TOL با عملکرد در محیط تنش گزارش نموده‌اند و جهت ارزیابی تحمل به شوری در ژنوتیپ‌ها، از این دو شاخص استفاده کرده‌اند (Mansuri *et al.*, 2012). Afiuni & Marjovvi (2009) نیز ضمن مطالعه تحمل ارقام گندم نان به شوری، همبستگی بین سه شاخص MP ، GMP و STI را مثبت و بالا ارزیابی کردند. شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش شوری و فاقد تنش دارای همبستگی معنی‌داری با عملکرد باشند، به‌عنوان شاخص برتر معرفی می‌شوند (Fernandez, 1992). این بدین مفهوم است که در صورت گزینش بر اساس مقادیر بالای هر یک از این شاخص‌ها، به‌طورغیرمستقیم ارقام با عملکرد بیشتر گزینش خواهند شد. بنابراین، شاخص‌های نام برده در تحقیق حاضر، برای معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری استفاده شدند. با این وجود در پژوهش حاضر، شاخص HM به دلیل دارا بودن همبستگی بیشتر با عملکرد در شرایط تنش شوری، به‌عنوان مبنا قرار گرفت (جدول ۹).

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در ۲۰ ژنوتیپ گندم

Table 9. Correlation coefficient of 20 wheat genotypes tolerant and sensitivity indices with grain yield under stressed and non-stressed conditions

	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	HM	SSI	YSI
Yp	1								
Ys	0.55^{*}	1							
TOL	0.57^{**}	-0.36	1						
MP	0.89^{**}	0.86^{**}	0.14	1					
GMP	0.85^{**}	0.90^{**}	0.06	0.99^{**}	1				
STI	0.85^{**}	0.90^{**}	0.06	0.99^{**}	0.99^{**}	1			
HM	0.81^{**}	0.93^{**}	-0.01	0.88^{**}	0.99^{**}	0.99^{**}	1		
SSI	0.25	-0.66^{**}	0.93^{**}	-0.19	-0.27	-0.27	-0.35	1	
YSI	-0.25	0.66^{**}	-0.93^{**}	0.19	0.27	0.27	0.35	-0.98	1

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively.

با تجزیه به مولفه‌های اصلی، هفت شاخص حساسیت و تحمل به تنش و صفت عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش شوری (جدول ۱۰)، بیشترین تغییرات بین داده‌ها (۹۹/۸۷ درصد) توسط دو مولفه اصلی اول و دوم توجیه شد. پایین بودن مقدار واریانس یک مولفه اصلی به آن معنی است که مولفه، نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها دارد (مولفه سوم). در این بررسی، اولین مولفه اصلی، ۶۳/۹۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد؛ این مولفه همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در شرایط تنش شوری و شاخص‌های MP،GMP ، STI و HM داشت، درحالی‌که همبستگی این مولفه با شاخص SSI و TOL منفی بود. با توجه به مقادیر همبستگی بالای مولفه اصلی اول با شاخص‌های تحمل و به ویژه با عملکرد دانه در شرایط تنش، انتخاب بر اساس مولفه اصلی اول، موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی شد که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش بودند. بنابراین، این مولفه را می‌توان به‌عنوان مولفه تحمل به شوری نامید. مولفه اصلی دوم، ۳۵/۸۸ درصد از کل تغییرات شاخص‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت بالایی با عملکرد در شرایط نرمال و شاخص‌های SSI و TOLداشت. از آن‌جا که مقادیر بیشتر این شاخص‌ها نشان دهنده حساسیت رقم به تنش می‌باشد، بنابراین این مولفه را می‌توان تحت عنوان مولفه حساسیت به شوری فرض کرد. به این ترتیب، انتخاب بر اساس مولفه

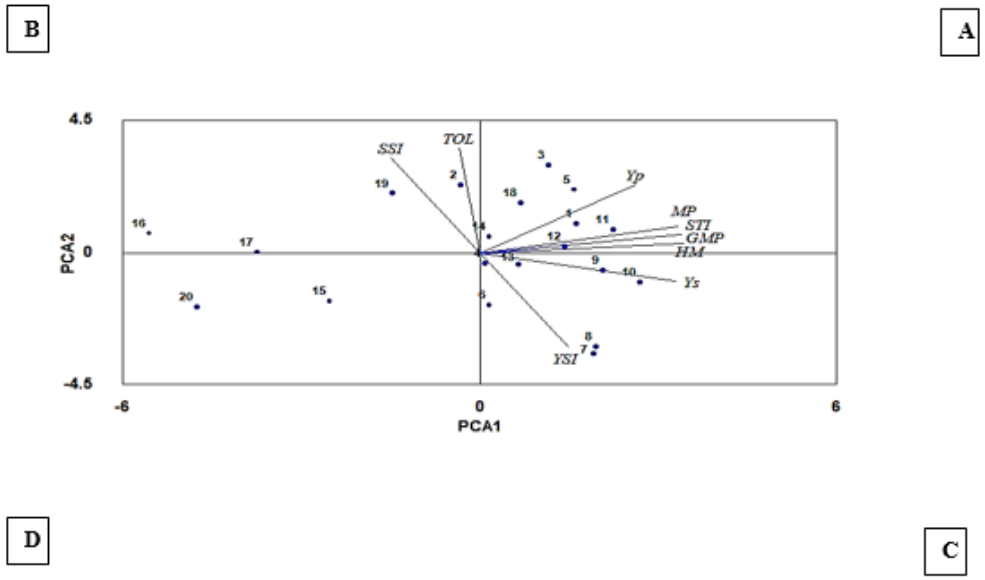
اصلی دوم، موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد، تحمل پایین و حساسیت به شوری بالا خواهد شد. بای‌پلات مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم (که ۹۹/۸۷ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کند) رسم شد (شکل ۱). در فضای بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آن‌ها به تنش بود. با توجه به این‌که ۶۳/۹۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به مولفهٔ اول بود که دارای همبستگی مثبت و بالایی با Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI، YSI و همبستگی منفی با شاخص‌های TOL و SSI بود، این دو به نام مؤلفه پتانسل و پایداری عملکرد و تحمل به شوری نام‌گذاری شدند. بنابراین روی بای‌پلات حاصله با توجه به مقادیر بالای این مؤلفه‌ها می‌توان ارقام متحمل به شوری با عملکرد بالا را انتخاب کرد. با توجه به این‌که دومین مؤلفه که ۳۵/۸۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و بر اساس نتایج جدول ۱۰ با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی مثبت بسیار بالایی نشان داد، ارقامی انتخاب شدند که به شرایط بدون تنش سازگاری ویژه داشتند (ژنوتیپ‌های منطقه C در نمودار بای پلات). بنابراین با این مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌هایی را که دارای TOL و SSI پایین و عملکرد در شرایط تنش شوری بالا هستند را انتخاب نمود (ژنوتیپ هفت و هشت). بر این اساس، مؤلفه دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نامگذاری کرد. از آن‌جا که همبستگی بالایی بین صفات عملکرد در شرایط تنش و همچنین شاخص‌های تحمل به تنش شوری با مؤلفه اول وجود داشت و به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مؤلفه دوم و عملکرد پتانسیل (Yp)، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در فضای بالایی این دو مؤلفه قرار گرفتند (منطقه A) می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به شوری و پرمحصول پیشنهاد شوند.

جدول ۱۰- مقادیر و بردارهای ویژه و سهم شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در ۲۰ ژنوتیپ گندم

Table 10. Eigen values and vector and variance of tolerance indices, Yp and Ys of 20 wheat genotypes

Component	Eigen values	(%) Variance	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	HM	SSI	YSI
1	5.758	63.99	0.317	0.400	-0.041	0.404	0.411	0.410	0.415	-0.180	0.180
2	3.229	35.88	0.361	-0.153	0.553	0.136	0.091	0.092	0.048	0.502	-0.502
3	0.008	0.001	0.346	-0.176	0.559	0.115	-0.025	-0.351	-0.155	-0.434	0.432

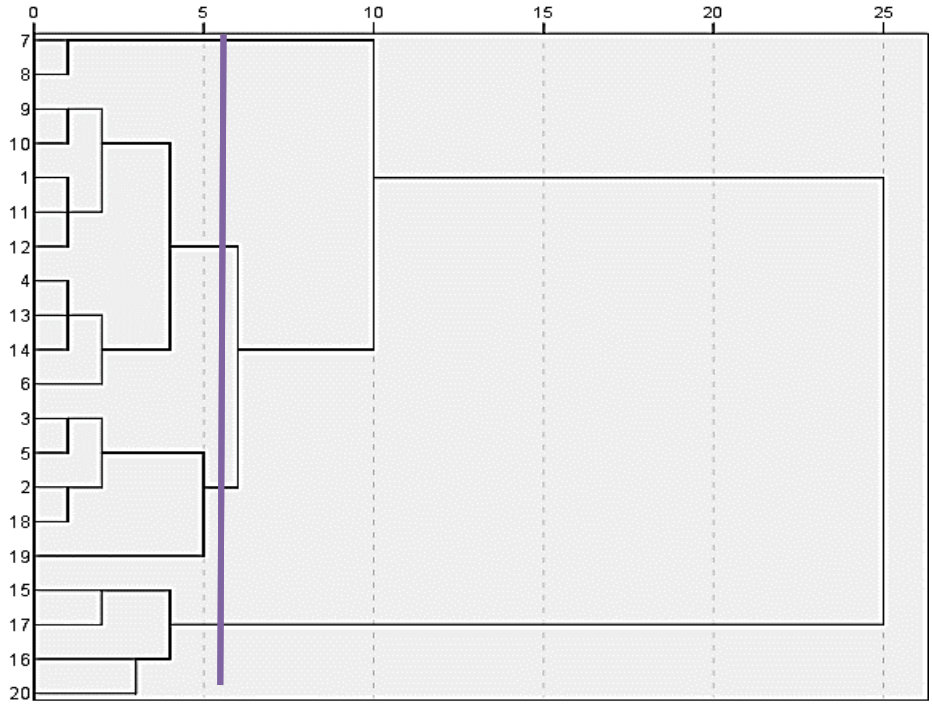
بنابراین و بر اساس نمودار بای‌پلات ترسیم شده، ژنوتیپ‌های نه، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و یک که در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به شوری و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به تنش MP، GMP، HM و STI قرار داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا شناخته شدند و ژنوتیپ‌های دو و ۱۹ که در ناحیه‌ای با عملکرد پایین در شرایط تنش و حساسیت بالا به شوری و در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به تنش TOL و SSI قرار گرفتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های بدون تنش شناسایی شدند. با توجه به این‌که زاویه بین بردارها، میزان هبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد، همانطور که مشاهده می‌شود، زاویه تند بین شاخص‌های MP، GMP، HM و STI نشان دهندهٔ همبستگی شدید بین این شاخص‌ها بود. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای تفکیک ارقام نسبت به تنش در لوبیا توسط Fernandez(1992) و در گندم توسط Pouresmael *et al.* (2009) مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است.



شکل ۱- نمایش بای‌پلات ۲۰ ژنوتیپ گندم در هفت شاخص تحمل به شوری بر اساس دو مؤلفه اول و دوم

Figure 1. Biplot of 20 wheat genotypes at 7 salinity tolerance indices based on the first and second principal components

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر مبنای شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش شوری، تجزیه خوشه‌ای استفاده و نمودار درختی مربوطه رسم شد (شکل ۲).



شکل ۲- دندوگرام حاصل از گروه بندی‌های ۲۰ ژنوتیپ گندم، براساس شاخص‌های تحمل شوری با استفاده از روش Ward

Figure 2. Dendrogram of cluster analysis of 20 wheat genotypes based on salinity tolerant indices using Ward′s method.

تعداد خوشه‌ها با استفاده از آماره ویلکس لامبدا برابر چهار خوشه تعیین شد. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز تا حدود زیادی نتایج حاصل از روش‌های قبلی را تأیید کرد. ژنوتیپ‌های گروه اول که شامل ژنوتیپ ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۲۰، عملکرد ضعیفی در هر دو شرایط داشتند و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ ها گروه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های هفت و هشت نیز در یک گروه قرار گرفتند و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی شدند. در گروه دیگر، نه ژنوتیپ (نه، ۱۰، یک، ۱۱، ۱۲، ۴، ۱۳، ۱۴ و شش) با قدرت تولید نسبتاً بالا و نیمه متحمل به شوری قرار گرفتند. از این ژنوتیپ‌ها را می‌توان به‌عنوان جایگزین ارقام متحمل و یا در مناطق دارای شدت تنش کمتر استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، ارزیابی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به شوری در امتداد با داده‌های حاصل از شاخص‌های MP، GMP، STI و HM، ژنوتیپ‌های دو، سه، پنج، هفت، هشت، ۱۰، ۱۱ و ۱۹ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط مزرعه شناسایی کرد. بر اساس تحلیل‌های انجام شده، ژنوتیپ‌های هفت و هشت متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۷ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش شوری بودند که نسبت به ارقام معرفی شده سیستان، نارین و برزگر متحمل‌تر و عملکرد بالاتری داشتند. بنابرین این دو ژنوتیپ (هفت و هشت) می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی به‌عنوان والد در تحقیقات مربوط به شوری استفاده شوند و یا به‌عنوان ارقام متحمل به شوری وارد چرخه تولید شوند.

REFERENCES

1. Abdemishani, S. & Shahnejat- Boshehri, A. A. (1996). Supplementary plant breeding. vol 1,2 University of Tehran Press. (In Persian)
2. Afiuni, D. & Marjovvi, R. (2009). Assessment of different bread wheat cultivars responses to irrigation water salinity. *Journal of Crop Improvement,* 11(2), 1-10.
3. Anapali, O., Shahin, V. Oztas, T. & Hanay, A. (2001). Defining effective salt leaching regions between drains. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25, 51-56.
4. Bchini, H., Chaabane, R., Mosbahi, M., Ben Naceur, M. & Sayar, R. (2011). Application of salt tolerance indices for screening barley (Hordeum vulgare L.) cultivars. *International Journal of Current Research*, 3(10), 8-13.
5. Bouslama, M. & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop Science*, 24(5), 933-937.
6. Chaves, M. M., Costa, J. M. & Saibo, N. J. M. (2011). Recent advances in photosynthesis under drought and salinity. *Advances in Botanical Research,* 57, 49-104
7. Colmer, T. D., Flowers, T. J., & Munns, R. (2006). Use of wild relatives to improve salt tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1059-1078.
8. Corwin, D. L., Rhoades, J. D. & Simunek, J. (2007). Leaching requirement for soil salinity control: Steady state versus transient models. *Agricultural Water Manage*, 90(3),165-180
9. Dehdari, A., Rezai, A. & Mir Mohamadi Maibody, S. A. M. (2006). Nuclear and cytoplasmic inheritance of salt tolerance in bread wheat plants based on ion contents and biological yield. *Iran Agricultural Research*, 24(1.2), 15-26.
10. El-Hendawy, S. E. S. (2004). *Salinity tolerance in Egyptian spring wheat genotypes* Ph.D. Thesis. Technische Universität München. Egypt.
11. Farshadfar, E. & Sutka, J. (2002). Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agrononomica Hungarica.* 50, 411-416.
12. Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress.* (pp. 257-270) Shanhua Taiwan.
13. Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), 897-912.
14. Hosseini, S. J., Sarvestani, Z. T. & Pirdashti, H. (1990). Analysis of tolerance indices in some rice (Oryza sativa L.) genotypes at salt stress condition. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(1), 1-10.

15. Husain, S., Munns, R. & Condon, A. T. (2003). Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54(6), 589-597.
16. Jafari, A., Paknejad F. & Jami AL-Ahmaidi, M. (2009). Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production,* 3, 33–38.
17. James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R. & von Caemmerer, S. (2002). Factors affecting CO2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, 29(12), 1393-1403.
18. Kristin, A. S., Serna, R. R., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, A. A., Vallejo, P. R., Wassimi, N. & Kelley, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50.
19. Mansuri, S. M., Jelodar, N. B., & Bagheri, N. (2012). Evaluation of rice genotypes to salt stress in different growth stages via phenotypic and random amplified polymorphic DNA (RAPD) marker assisted selection. *African Journal of Biotechnology*, 11(39), 9362-9372.
20. Mohammadi, A., Ahmadi, J. & Habibi, D. (2005). Selection indices for drought tolerance inbreadwheat (Triticum aestivum). *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 1, 47-62.
21. Munns, R. & James, R. A. (2003). Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*, *253*(1), 201-218.
22. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology,* 59, 651-681.
23. Munns, R., James, R. A. & Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1025-1043.
24. Nabipur, A. R., Yazdi-Samadi, A., Zali, A. & Poustini, K. (2002). Effects of morphological traits and their relations to stress susceptibility index in several wheat genotypes. *Biaban*, 7(1), 31-47
25. Najaphy, A. & Geravandi, M. (2011). Assessment of indices to identify wheat genotypes adapted to irrigated and rain-fed environments. *Advances in Environmental Biology*, 5(10), 3212-3219.
26. Netondo, G. W., Onyango, J. C. & Beck, E. (2004). Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science*, 44(3), 806.
27. Nour-Mohamadi, G., Siadat, A. & Kashani, A. (2009). Agronomy, Vol. 1: Cereal crops. Shahid Chamran University press. Iran-Ahwaz. (In Persian)
28. Panthuwan, G., Fokai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, J. & Toole, C. (2002) Yield response of rice genotypes to different types of drought underrainfed lowlands. *Field Crop Reaseach*, 41, 45-54.
29. Pazira, E. & Sadeghzadeh, K. (1998). National review document on optimizing soil and water use in Iran. In *Workshop of ICRISAT, Sahelian,* 13-18.
30. Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y. & Sepaskhah. A. R. (2015). Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. *International Journal of Plant Production,* 9, 467-486.
31. Pouresmael, M., Akbari, M., Vaezi, S. & Shahmoradi, S. (2009). Effects of drought stress gradient on agronomic traits in Kabuli chickpea core collection. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(4), 307-324.
32. Ranjbar, G. H. & Banakar, M. H. (2013). Effect of planting date and salinity stress on grain yield and spike sterility of wheat cv. Bam. Environ. *Crop Science*. 6, 111-121. (In Persian)
33. Ranjbar, G. H. & Rousta, M. J. (2010). Effective sustainability criteria in the selection of wheat genotypes under saline conditions. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(3) 283-290. (In Persian)
34. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop Science*, 21(6), 943-946.
35. Sardouie-Nasab, S. G., Mohammadi Nejad, R., Zebarjadi, B., Nakhoda, M., Mardi, M., Tabatabaie, G.R., Sharifi Amini, A. & MajidiHeravan, E. (2013). Response of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines to salinity stress. *Seed and Plant Improvement Journal,* 29(1), 81-102.
36. Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P. & Kelly, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37(1), 43-50.
37. Singh, A. L., Hariprassana, K. & Solanki, R. M. (2008). Screening and selection of groundnut genotypes for tolerance of soil salinity. *Australian Journal of Crop Science*, 1(3), 69-77.

38. Sio-Se Mardeh, A. S. S., Ahmadi, A., Poustini, K. & Mohammadi, V. (2006). Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98(2-3), 222-229
39. Starck, Z. & Czajkowska, E. (1981). Function of roots in NaCl-stressed bean plants. In: *Structure and Function of Plant Roots* (pp. 381-387.) Springer, Dordrecht.
40. Tammam, A. A., Alhamd, M. A. & Hemeda, M. M. (2008). Study of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Banysoif 1. *Australian Journal of Crop Science*, 1(3), 115-125.
41. USDA-ARS. (2008). Research Databases. Bibliography on Salt Tolerance. George E. Brown, Jr. Salinity Lab.USDep. Agric., Agric. Res. Serv. Riverside, CA.
42. http://www. ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8908.
43. Vishwakarma, M. K., Mishra, V. K., Gupta, P. K., Yadav, P. S., Kumar, H. & Joshi, A. K. (2014). Introgression of the high grain protein gene *Gpc-B1* in an elite wheat variety of Indo-Gangetic Plains throgh marker assisted backcross breeding. *Current Plant Biology*, 1, 60-67.
44. Yan, W. K. & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders. In: Kang M S, ed., Geneticists, and Agronomist. CRC Press, Boca Raton, FL.
45. Zhu, M., Shabala, S., Shabala, L., Fan, Y. & Zhou, M. X. (2016). Evaluating predictive values of various physiological indices for salinity stress tolerance in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(2), 115-124.