شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IDAJ.2023.361762.397

برآورد شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی به منظور گزینش لاین‌های گندم دیم برای مناطق سرد کشور

حسین نظری[۱*]، مرتضی اشراقی‌نژاد[۲]، مظفر روستایی[۳]، سید محمد علوی سینی[۲]

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۲- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران

۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات، نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی جهان دارد. مسئله امنیت غذایی دنیا بعلت تغییرات شدید آب و هوایی و کمبود منابع آبیاری دچار چالش جدی شده است. درک واکنش‌های گیاهان به خشکی بخش اصلی در توسعه ارقام مقاوم به تنش است. عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی و شرایط بهینه یکی از نکات ضروری و مقدماتی در انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط دیم می‌باشد. این مطالعه با هدف شناسایی روابط بین شاخص‌ها و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی و همچنین انتخاب بهترین لاین‌های گندم مناسب برای مناطق سرد دیم برای برنامه‌های اصلاحی آینده انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش: به منظور شناسایی روابط بین شاخص‌های تحمل به خشکی و تعیین بهترین شاخص و همچنین انتخاب بهترین لاین‌ها برای برنامه‌های اصلاحی آینده، تعداد ۱۴۴ لاین گندم در قالب طرح آلفا لاتیس در دو تکرار و در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در ایستگاه تحقیقات دیم مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص های مختلف تحمل و حساسیت شامل شاخص تنش نسبی (RSI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص مقاومت به تنش (SRI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص کاهش نسبی (RR)، شاخص تنش غیرزیستی (ATI)، شاخص تحمل (TOL) ، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص میزان محصول تنش و محیط بدون تنش (SNPI) و نسبت افت عملکرد (PRR) شاخص‌ها محاسبه شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط آبی و دیم بر روی عملکرد لاین‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد نشان دادند. تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه اکثر لاین‌ها در شرایط دیم گردید. لاین ۸۲ بیشترین عملکرد را در شرایط پتانسیل (۲۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) و دیم (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) داشت. لاین ۲۱ نیز کمترین عملکرد را در دو شرایط داشت (به‌ترتیب دیم ۸۲۵ و آبیاری تکمیلی ۱۱۱۳ کیوگرم در هکتار). نتایج همبستگی نشان داد که

* نگارنده مسئول: nazary28@gmail.com تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP (۰/۵۶)، GMP (۰/۵۶)، HM (۰/۵۶) YI (۰/۵۵) و TOL (۰/۵۳) داشت. در شرایط تنش شاخص‌های MP (۰/۵۴)، GMP (۰/۵۴)، HM (۰/۵۴) YI (۰/۵۳) بیشترین همبستگی را با عملکرد داشتند. بر اساس دو مولفه اول انتخابی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی که ۹۱/۳۵ درصد تغییرات را توجیه نمودند، لاین‌های ۹۰ و ۱۰۲ انتخاب شدند که بر اساس نمودار سه بعدی نیز تایید شدند. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها نیز آن‌ها را در چهار گروه قرار داد که لاین‌هایی همچون ۹۰، ۱۳۱، ۱۰۲ و ۱۳۲ نیز در گروه با عملکرد بالا در هر دو شرایط قرار گرفتند. باتوجه به نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌گردد که از شاخص‌های مقاومت به تنش، میانگین هارمونیک، میانگین هندسی و پایداری عملکرد که دارای بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد در شرایط دیم و آبی هستند در گزینش لاین‌ها استفاده شود؛ همچنین غربال‌گری براساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای‌پلات و خوشه‌بندی با استفاده از چند شاخص انجام گیرد.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، خوشه‌بندی، شاخص‌های حساسیت، مولفه‌های اصلی

مقدمه

گندم به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات، حدود ۱۸ درصد از کل کالری جمعیت جهان را تامین می‌کند و به‌همین دلیل نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی جهان دارد (FAO, 2020). مسئله امنیت غذایی دنیا بعلت افزایش سریع جمعیت برای مصرف مواد غذایی و تغییرات شدید آب و هوایی و کمبود منابع آبیاری دچار چالش جدی شده است (Zwart *et al*., 2004; Lesk *et al*., 2016). از آن جایی که گندم با شرایط بسیار متنوع آب و هوایی سازگار است، نسبت به سایر محصولات در سطح وسیع‌تری در سراسر جهان کشت می‌شود. خشکی به عنوان دومین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی که موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد زمین‌های دنیا شده است (Reynolds *et al*., 2011; Biglouie *et al*., 2010). تحمل خشکی به صورت توانایی گیاهان برای زنده ماندن و تولید تحت شرایط کمبود آب تعریف می‌شود (Nevo and Chen, 2010; Fleury *et al*., 2010). گندم یکی از رایج‌ترین محصولات در شرایط دیم و در اقلیم مدیترانه‌ای است، تحت شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای تنش آبی و دمای بالا از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد دانه محسوب می‌شوند. در کشت دیم محصولات زراعی، گیاه در آخر فصل با تنش خشکی مواجه می‌شود، بنابراین اصلاح برای مقاومت به خشکی به‌منظور تولید پایدار گندم در این مناطق بسیار مهم است (Li *et al*., 2011). گزارش‌ها نشان می‌دهد گزینش ژنوتیپ‌های گندم با سازگاری بهتر به تنش خشکی عملکرد گندم در شرایط دیم را افزایش می‌دهد (Alavi-Siney and Saba, 2015).

درک واکنش‌های گیاهان به خشکی بخش اصلی در توسعه ارقام مقاوم به تنش است. عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی و شرایط بهینه یکی از نکات ضروری و مقدماتی در انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط دیم می‌باشد (Amiri *et* al., 2014). برخی پژوهشگران به انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب اعتقاد دارند (Betran *et al*., 2003) و برخی دیگر به گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش معتقدند (Rathjen, 1994). برخی از محققان نیز روش حدواسط را ترجیح داده و انتخاب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را درست می‌دانند (Byrne *et al*., 1995). برای تمایز ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، چندین شاخص انتخاب در شرایط مختلف به کار گرفته شده است. با استفاده از شاخص مقاومت به خشکی، می‌توان مقیاسی از خشکی را

به‌دست آورد کـه با آن ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را بر اسـاس میـزان خسارت وارده به عملکرد تحت شرایط خشـکی در مقایسـه بـا شرایط بدون تنش، غربال نمود (Mitra, 2001). روش‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی و تشریح پاسخ آن‌ها نسبت به تنش‌های مختلف مورد استفاده به‌نژادگران قرار گرفته است. این شاخص‌ها بر اساس عملکرد دانه، برای مقایسه و شناسایی ارقام گیاهان زراعی متحمل به تنش‌های محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کار بردن یک شاخص به‌تنهایی برای انتخاب ارقام متحمل یا حساس به خشکی مطلوب نیست، بلکه باید با استفاده از چند شاخص مقاومت ژنوتیپ‌ها را ارزیابی نمود تا احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل بیشتر شود.

شاخص حساسیت به تنش (SSI[1]) برای اندازه‌گیری پایداری عملکرد پیشنهاد شده است (Fischer and Maurer, 1978). میزان SSI کمتر از یک بیانگر تحمل به خشکی است. در این شاخص هر چه میزان عملکرد در حالت تنش به عملکرد در حالت بدون تنش نزدیک‌تر باشد حساسیت ژنوتیپ به خشکی کمتر است. این شاخص فقط می‌تواند ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط تنش را انتخاب نماید و ژنوتیپ‌های گزینش‌شده الزاماً عملکرد مناسبی در شرایط بدون تنش نخواهند داشت. مقدار کم شاخص SSI نشان‌دهنده‌ی تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن است. انتخاب براساس شاخص SSI سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که اگرچه متحمل به تنش هستند اما داری پتانسیل عملکرد پایین در محیط تنش هستند. اختلاف عملکرد در محیط تنش و بدون تنش را با شاخص تحمل[2] (TOL) نشان می‌دهد. انتخاب ژنوتیپ بر اساس شاخص TOL منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد و میانگین بهره‌وری پایین در محیط بدون تنش می‌شود، لذا انتخاب براساس این شاخص به‌تنهایی منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا نخواهد شد. شاخص بهره‌وری متوسط[3] (MP) نمایانگر میانگین عملکرد در دو محیط تنش و غیر تنش است (Rosielle and Hamblin, 1981). شاخص تحمل تنش[4] (STI) به‌عنوان شاخصی برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی است که می‌تواند برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی تولید می‌کند، استفاده شود. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی است، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) در قیاس با شاخص میانگین بهره‌وری قدرت بیشتری برای تفکیک ژنوتیپ‌ها دارد (Fernandez, 1992). شاخص عملکرد (YI) رتبه‌دهی را تنها بر پایه عملکرد حالت تنش انجام می‌دهد؛ بنابراین قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو حالت تنش و غیر تنش عملکرد بالایی دارند، نیست. شاخص پایداری عملکرد[5] (YSI) برای یک ژنوتیپ با استفاده از عملکرد دانه تحت تنش نسبت به عملکرد دانه آن در شرایط بدون تنش محاسبه می‌شود (Bouslama and Schapaugh, 1984). پیش‌بینی می‌شود ژنوتیپ‌های دارای YSI بالا، عملکرد دانه بالایی تحت تنش و عملکرد دانه پایینی تحت شرایط بدون تنش داشته باشند. ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بالای میانگین هارمونیک (HAM) مطلوب هستند. شاخص انتخاب مناسب، شاخصی است که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا را در شرایط تنش و غیر تنش انتخاب می‌کند (Fernandez, 1992). مشخص شده است که بین شاخص‌های GMP، MP و STI با عملکرد دانه و همچنین بین خودشان همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد که نشان‌دهنده برتری این شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد در محیط‌های تحت تنش می‌باشد. براساس بیشتر مطالعات انجام شده بر روی گندم مشخص شده است

[1] Stress Susceptibility Index
[2] Tolerance
[3] Mean Productivity
[4] Stress Tolerance Index
[5] Yield Stability Index

که ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی دارای بیشترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP و STI بوده و از نظر شاخص‌های SSI و TOL مقادیر کمی دارند.

در مطالعه‌ای روی ۵۰ ژنوتیپ گندم دوروم در شرایط تنش خشکی و بدون تنش مشخص شده است که شاخص‌های MP، GMP و STI قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم هستند (Kamrani, *et al*., 2016). با بررسی ۸۰ ژنوتیپ گندم نان گزارش شده است که شاخص‌های STI، GMP، MP، YIو HAM برای غربال ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی شاخص‌های مناسب‌تری هستند (Amiri *et al*., 2014). براساس تجزیه به مولفه‌های اصلی، مشخص شده است که شاخص‌های GMP، MP و STI برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، بهتر از سایر پارامترها می‌باشند (Ilyas Khokhar, *et al*., 2012). در برخی از مطالعات روشن شده است که می‌توان با استفاده از چهار شاخص STI، MP، GMP و YI انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش را انجام داد (Saed Moucheshi *et al*., 2010; Ilyas Khokhar, *et al*., 2012). گزارش شده است که به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط تنش و غیر تنش و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی می‌توان از مقادیر عددی بزرگ شاخص‌های MP و GMP و STI استفاده نمود (Sio-Se Mardeh, *et al*., 2006). این مطالعه با هدف شناسایی روابط بین شاخص‌ها و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی و همچنین انتخاب بهترین لاین‌های گندم مناسب برای مناطق سرد دیم برای برنامه‌های اصلاحی آینده انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد ۱۴۴ لاین گندم در قالب طرح آلفا لاتیس در دو تکرار و در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در ایستگاه تحقیقات دیم مرکز تحقیقات کشاورزی زنجان واقع در شهرستان خدابنده با طول جغرافیایی ′۴۹ °۴۸ ، عرض جغرافیایی ′۱۳ °۳۶ و ارتفاع ۱۸۷۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۳۵۰ طی سال‌های (۱۳۹۹-۱۳۹۸) ارزیابی شدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه بعد از نمونه برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تعیین گردید (جدول ۱). عملیات قبل از کشت: قبل از کشت، نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از هر تکرار تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

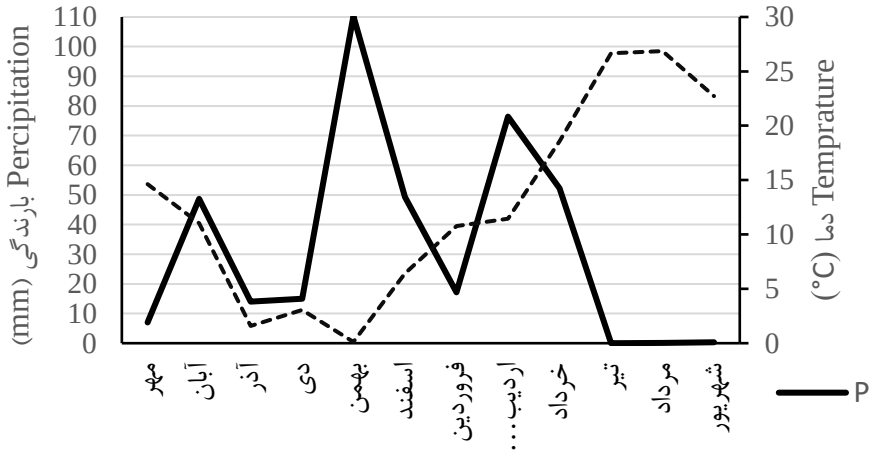
بذرها از موسسه تحقیقات دیم کشور و موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیدند. مشخصات لاین‌ها در جدول ۲ (پیوست ۱) آمده است. لاین‌ها توسط نرم‌افزار GENDEX در دو تکرار در ردیف‌ها و ستون‌ها قرار گرفتند. ابعاد واحدهای آزمایشی شامل شش خط به طول شش متر و با فاصله ۱۷ سانتی‌متر بود. میزان بذر مصرفی در شرایط دیم با تراکم ۳۸۰ دانه در متر مربع و در شرایط آبیاری برابر با ۴۵۰ دانه در متر مربع بودند که با توجه به وزن هزاردانه هر لاین محاسبه و بذرها روی ردیف‌ها در عمق ۵ سانتی‌متری در مهرماه کشت شدند. عملیات خاک‌ورزی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام شد، پس از آن زمین توسط لولر تسطیح گردید. عملیات کاشت برای هر دو محیط تنش خشکی و بدون تنش یکسان و به‌صورت دستی انجام شد. در آزمایش آبیاری تکمیلی، آبیاری در سه نوبت در مراحل زمان کشت، بلافاصله قبل از مرحله بوتینگ و خوشه‌دهی انجام شد. تیمار خشکی هیچ آبی به‌جز بارندگی دریافت نکرد که میزان آن ۳۵۰ میلی‌متر بود. ضدعفونی بذور با سم کاربوکسین تیرام با نسبت دو در هزار برای کنترل بیماری سیاهک پنهان و آشکار انجام گرفت. نیتروژن مورد نیاز در قطعه زمین آزمایش برای هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم بر اساس آزمون خاک به میزان ۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره با نسبت ۷۰ و ۳۰ درصد به ترتیب در پاییز و بهار (سرک) مصرف شد. براساس نتایج آزمون خاک نیازی به مصرف کود فسفره نبود. قبل از مرحله ساقه‌روی گندم از علف‌کش D.۲،۴ به میزان دو لیتر

در هکتار استفاده شد. برای مبارزه با حشره کامل سن گندم از سم فنیتروتیون به میزان یک لیتر در هکتار استفاده شد. موقعیت آب و هوایی ایستگاه دیم در سال اجرای آزمایش (تغییرات ماهانه دمای هوا نسبت به تغییرات ماهانه بارندگی در طول سال) با منحنی های آمبروترمیک نشان داده شده است (شکل۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در ایستگاه دیم خدابنده

Table 1. Results of physical and chemical analysis for used soil

بافت خاک	عمق (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی ds/m	درصد مواد خنثی شونده %	کربن آلی %	پتاسیم ppm	فسفر ppm	شن %	سیلت %	رس %
Soil texture	Depth (cm)	EC (ds/m)	P.N.V. (%)	O.C (%)	K (ppm)	P (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay(%)
لومی‌رسی‌سیلتی	0-30	0.692	5.4	0.69	453	18.60	18	42	40



شکل ۱- نمودار آمبروترمیک ایستگاه دیم خدابنده در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸. P : بارندگی (میلی‌متر) و T: دما (درجه سانتی گراد)

Fig. 1. Ambrothermic graph of Khodabandeh rainfed station in 2017-2018 crop season P: Percipitation T: Temprature

جدول ۳- شاخص‌های تحمل و حساسیت استفاده شده به منظور گزینش لاین‌های گندم متحمل به تنش خشکی

Table 3. Tolerance and sensitivity indices used to select wheat lines tolerant to drought stress

شاخص	منبع	رابطه	شاخص	اختصار
شاخص تحمل به تنش بهبود یافته	Moosavi, et al., 2008	(Ys^2*Yys^2)*STI	Modified stress tolerance index	K2MSTI
شاخص تنش نسبی	Moosavi, et al., 2008	100-((Ys/Yp)*100))	Relative stress index	RSI2
شاخص حساسیت به تنش	Bouslama & Schapaugh (1984)	(Yp-YS)/Yp	Stress susceptibility index	SSI2
شاخص جدید مقاومت به تنش	Lan, J. 1998	(YS*(Ys/yp))/Yys	Stress resistant index	SRI2

K1MSTI	Modified stress tolerance index	(Yp^2/Yys^2)*STI	Moosavi, et al., 2008	شاخص تحمل به تنش بهبود یافته
SRI	Stress resistant Index	(YS*(Ys/yp))/Yyp	Bidinger et al. (1987)	شاخص مقاومت به تنش
YI	Yield index	YS/YyS	Gavuzzi et al. (1997)	شاخص عملکرد
YSI	Yield stability index	YS/YP	Bouslama & Schapaugh (1984)	شاخص پایداری عملکرد
RR	Relative Reduction	((Yp-Ys)/Yp)*10	Chaves et al., 2003	کاهش نسبی
ATI	Abiotic Tolerance Index	((YP-Ys)/(Yyp-Yys))*(sqrt(Yp*Ys)	Ehdaie, et al., 2003	شاخص تنش غیر زیستی
TOL	Tolerance Index	YP-YS	Rosielle & Hamblin (1981)	شاخص تحمل
MP	Mean productivity	(Yp+Ys)/2	Rosielle & Hamblin (1981)	میانگین تولید
STI	Stress tolerance index	(Yp*Ys)/Yyp^2	Fernandez (1992)	شاخص تحمل تنش
GMP	Geometric mean productivity	sqrt(Ys*Yp)	Fernandez (1992)	میانگین هندسی بهره‌وری
SSPI	Stress Susceptibility Percentage Index	((Yp-Ys)/2*(Yyp))*100	Ehdaie, et al., 2003	شاخص درصد حساسیت به تنش
RSI	Relative stress index	(Ys/Yp)/(Yys/Yyp)	Fischer & Wood (1979)	شاخص تنش نسبی
HM	Harmonic mean	(2*(Yp*Ys))/(Yp+Ys)	Bidinger et al. (1987)	میانگین هارمونیک
SSI1	Stress susceptibility index	(1-Ys/Yp)/(1-Yys/Yyp)	Fischer & Maurer (1978)	شاخص حساسیت به تنش
SNPI	stress and non-stress environment products index	(((Yp+Ys)/(Yp-Ys))^(1/3))* ((Yp*(Ys^2))^(1/3))	Moosavi, et al., 2008	شاخص میزان محصول محیط تنش و غیر تنش
PRR	Production reduction ratio	1-(Ys/Yp)	Rosielle & Hamblin (1981)	نسبت افت عملکرد

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط آبی و دیم بر روی عملکرد لاین ها در سطح یک در صد معنی‌دار بود. همچنین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد نشان دادند. برهمکنش محیط در لاین از این نظر معنی‌دار نشد که نشان می‌دهد لاین‌ها در دو محیط پاسخ و رفتار مشابهی نشان دادند (جدول ۴).

لاین های ۸۲، ۱۳۱ و ۶۵ به ترتیب با میانگین ۲۸۷۶، ۲۸۴۴/۵ و ۲۸۲۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد در شرایط پتانسیل و لاین‌های ۷۴، ۷۳ و ۲۱ نیز با میانگین ۱۱۴۱، ۱۱۲۵ و ۱۱۱۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد در شرایط آبی را داشتند. لاین‌های ۶۵، ۱۳۱ و ۸۶ با میانگین عملکرد ۲۲۵۰، ۲۱۵۰ و ۲۱۲۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد در شرایط دیم را داشتند و لاین‌های ۷۳، ۷۴، ۷۲، ۷۰ و ۲۲ با میانگین عملکرد کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را در شرایط دیم داشتند.

از نظر شاخص RSI2، لاین‌های ۸۲ و ۱۳۲ بیشترین شاخص و ۲۸ و ۶ کمترین مقدار را داشتند. از نظر شاخص K2MSTI لاین‌های ۷۹ و ۱۳۱ بیشترین و لاین‌های ۱۶ و ۱۸ کمترین مقدار را داشتند. لاین های ۷۹ و ۱۴۰ بیشترین و ۲۲، ۱۸ و ۴۶ کمترین مقدار شاخص SRI را داشتند. لاین‌های ۲۲ و ۸۲ بیشترین مقدار شاخص SSI2 و لاین‌های ۲۸ و ۵ کمترین مقدار آن را داشتند. بیشترین شاخص K1MSTI در لاین‌های ۷۹ و ۱۳۱ و کمترین آن در لاین‌های ۱۸ و ۱۶ به دست آمد. لاین‌های ۷۹ و ۱۴۰ بیشترین و لاین‌های ۲۲ و ۱۸ کمترین مقدار DI را به خود اختصاص دادند. از نظر شاخص YI، لاین‌های ۷۹ و ۹۰ بیشترین مقدار و لاین‌های ۱۶ و ۱۸ کمترین مقدار را نشان دادند. بیشترین و کمترین مقدار شاخص YSI به ترتیب در لاین‌های ۵، ۲۸ و ۸۲، ۲۲ مشاهده شد. لاین‌های ۲۲ و ۸۲ بیشترین RR و لاین‌های ۲۸ و ۵ کمترین مقدار آن را داشتند. لاین های ۷۹ و ۹۰ بیشترین مقدار شاخص ATI را به خود اختصاص دادند در حالی‌که لاین‌های ۶ و ۱۶ کمترین مقدار آن را داشتند. از نظر شاخص TOL لاین‌های ۸۲ و ۱۳۲ و ۷۹ بیشترین مقدار و لاین‌های ۲۸، ۶ و ۱۶ کمترین آن را داشتند. بیشترین مقدار شاخص‌های MP و STI مربوط به لاین‌های ۷۹، ۹۰ و ۱۳۱ و کمترین مقدار این دو شاخص مربوط به لاین‌های ۱۶ و ۱۸ بود. بیشترین و کمترین مقدار شاخص GMP به ترتیب در لاین‌های ۷۹، ۱۳۱، ۹۰ و ۹۵، ۱۶، ۱۸ مشاهده شد. لاین های ۸۲، ۱۳۲ و ۷۹ بیشترین مقدار شاخص SSPI و لاین های ۲۸، ۶ و ۱۶ کمترین مقدار این شاخص را داشتند. از نظر شاخص RSI لاین‌های ۵، ۲۸ و ۱۴۰ بیشترین مقدار و لاین‌های ۷۰، ۸۲ و ۲۲ کمترین مقدار را داشتند. بیشترین و کمترین مقدار شاخص HM به‌ترتیب در لاین‌های ۷۹، ۹۰، ۱۳۱، ۱۰۲ و ۹۵، ۱۶، ۱۸ مشاهده شد. از نظر شاخص SSI لاین‌های ۲۲، ۸۲ و ۷۰ بیشترین و لاین‌های ۱۴۰، ۲۸ و ۵ کمترین مقدار را داشتند. لاین‌های ۱۴۰، ۷۹ و ۱۱۷ بیشترین مقدار شاخص SNPI و لاین‌های ۷۰، ۴۶، ۱۸ و ۲۲ کمترین مقدار را داشتند. از نظر شاخص PRR لاین‌های ۲۲، ۸۲ و ۷۰ بیشترین مقدار و لاین‌های ۱۴۰، ۴۷، ۲۸ و ۵ کمترین مقدار را داشتند (جدول ۵). لاین‌هایی که کمترین مقدار شاخص‌های TOL و SSI و یا بیشترین مقدار شاخص‌های MP، GMP، HM، SSI، STI، YI، YSI و RSI را داشته باشند به عنوان لاین‌های متحمل گزینش می‌شوند (Tahmasbali *et al.*, 2021). بر این اساس لاین‌های ۲۸، ۶، ۱۶، ۱۴۰، ۲۸، ۵، ۷۹، ۹۰، ۱۳۱، ۱۰۲ به عنوان لاین‌های متحمل دارای پایداری عملکرد انتخاب شدند. ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و فاقد تنش، بر اساس عملکرد آن‌ها به

جدول ۴- تجزیه واریانس عوامل آزمایشی بر عملکرد دانه لاین‌ها

Table 4. Variance analysis of experimental factors on grain yield of lines

منابع تغییر	SOV	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)
محیط	Environment	1	31080160.42**
تکرار (محیط)	Replication (Envronment)	2	13143095.00**
لاین	Line	143	563476.69**
لاین در محیط	Line × Environment	143	10120.39ns
خطا	Error	286	95705.10
ضریب تغییرات	CV	-	18.07

چهار گروه مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند (Fernandez, 1992). گروه A ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و فاقد تنش عملکرد بالایی دارند را شامل می‌شود. گروه B نماینده ژنوتیپ‌هایی است که تنها در محیط بدون تنش عملکرد بالایی داشته و تحت تنش جزء ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین قرار می‌گیرند. گروه C مجموعه ژنوتیپ‌هایی است که برعکس گروه قبلی تنها در محیط دارای تنش عملکردی بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌ها دارند و در شرایط بدون تنش عملکردی پایین‌تر از میانگین ژنوتیپ‌ها داشته باشند. ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و عدم تنش در گروه D قرار می‌گیرند. همچنین مشخص شده است که شاخصی که توانایی تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها را داشته باشد؛ مناسب‌ترین شاخص برای انتخاب است. بهترین شاخص‌ها، آن‌هایی هستند که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در دو شرایط تنش و عدم تنش داشته باشند (Fernandez, 1992).

در ارزیابی تحمل به خشکی ۱۴ ژنوتیپ گندم دوروم مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش مربوط به ژنوتیپ شماره ۱ بود، بنابراین می‌توان اظهار داشت که رقمی به تنش خشکی تحمل بیشتری دارد که در آن رقم، عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بیشتر باشد؛ در این تحقیق نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های MP،GMP و STI در سطح احتمال ۱درصد با عملکرد دانه و با یکدیگر در شرایط تنش و بدون تنش مثبت و معنی‌دار بود، این شاخص‌ها بهترین شاخص‌ها برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ برتر بودند (Rahmati *et al*., 2020). آن‌ها همچنین اظهار داشتند که ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۹ و ۱۰ کمترین مقدار شاخص‌های SSI و TOL بودند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب شدند، اختلاف چندانی در عملکرد ژنوتیپ‌هایی که مقادیر TOL عملکردشان در محیط تنش و بدون تنش کم بود مشاهده نکردند، و همچنین ارقام با SSI بالا، دارای عملکرد کم در محیط تنش هستند چرا که نسبت به آن حساسیت دارند (Rahmati *et al*., 2020). دو لاین با عملکرد کم و یا زیاد می‌توانند در دو محیط تنش و غیرتنش مقدار SSI برابری داشته باشند، بنابراین انتخاب بر اساس این شاخص، ممکن است به‌نژادگران را به اشتباه بیندازد (Naeimi *et al*., 2008). مقدار پایین شاخص TOL دلالت بر تحمل بالاتر لاین دارد؛ بنابراین لاین‌های متحمل را می‌توان بر اساس TOL پایین انتخاب نمود. لاین‌های ۱۴۰، ۵، ۲۸، ۶ و ۱۶ متحمل‌ترین لاین‌ها بر اساس شاخص‌های SSI و TOLبودند، اما بر اساس شاخص‌های دیگر در گروه لاین‌های حساس قرار گرفتند؛ بنابراین می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که شاخص‌های TOL و SSI به تنهایی شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی لاین‌های متحمل به خشکی نیستند. چون لاین‌هایی که مقادیر کمتری از شاخص TOL را دارند به‌عنوان لاین‌های متحمل به تنش انتخاب شدند که این انتخاب منجر به گزینش لاین‌هایی خواهد شد که عملکرد بالایی در شرایط تنش خشکی و عملکرد عمدتا کمتری در شرایط بدون تنش خواهند داشت. به همین جهت شاخص‌های TOL و SSI بدون در نظرگرفتن سایر شاخص‌ها قادر به گزینش لاین‌های متحمل به خشکی با عملکرد بالا نیستند (Shahryari and Mollasadeghi, 2011).

شکل ۲- نمایش گرافیکی تنوع فنوتیپی در صفات مورد مطالعه ۱۴۴ ژنوتیپ مختلف. TEM: دمای کانوپی؛ A: فتوسنتز؛ T: تعرق؛ Ci: غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه؛ SC: هدایت روزنه‌ای؛ MC: هدایت مزوفیلی؛ SPAD: شاخص کلروفیل ؛ DHE: تعداد روز تا ظهور سنبله؛ DMA: تعداد روز تا رسیدگی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ TGW: وزن هزار دانه؛ YLD: عملکرد دانه در این شکل، مقادیر عددی صفات مختلف هر لاین و ارقام شاهد به صورت رنگی نشان داده شده است. با یک نگاه کلی به هر کدام از صفات، می‌توان تنوع فنوتیپی موجود را مشاهده کرد.

Fig. 2. Graphical representation of phenotypic variation in studied traits of 144 different genotypes. TEM: canopy temperature; A: photosynthesis; T: transpiration; Ci: concentration of carbon dioxide under stomata; SC: stomatal conductance; MC: mesophyll conductance; SPAD: chlorophyll index; DHE: number of days until spike emergence; DMA: number of days until handling; PLH: plant height; TGW: thousand grain weight; YLD: Seed yield In this figure, the numerical values of different traits of each line and control cultivars are shown in color. With a general look at each of the traits, it is possible to see the existing phenotypic diversity.

بر اساس تمام شاخص‌های محاسبه‌شده آمده در جدول ۵ (پیو ست) در اکثر موارد لاین‌های ۹۵، ۱۶، ۱۸ حساس به خشکی و لاین‌های ۱۳۱، ۷۹، ۹۰، ۵، ۱۴۰ و ۲۸ متحمل به خشکی (شرایط دیم) بودند. برای تعیین مناسب‌ترین معیار های تحمل به خشکی، ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه لاین‌ها در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه گردید. نتایج همبستگی نشان داد که عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP (۰/۵۶)، GMP (۰/۵۶)، HM (۰/۵۶) YI (۰/۵۵) و TOL (۰/۵۳) داشت. در شرایط تنش شاخص‌های MP (۰/۵۴)، GMP (۰/۵۴)، HM (۰/۵۴) YI (۰/۵۳) بیشترین همبستگی را با عملکرد داشتند. این امر نشان دهنده این است که از این شاخص‌ها می‌توان برای گزینش لاین‌های با عملکرد بالا تحت شرایط مختلف آبیاری استفاده نمود. عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (دیم) با شاخص‌های SRI، DI، YI، SNPI، MP، GMP و HM همبستگی مثبت و بالایی داشت. عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) داشت که نشان می‌دهد یک لاین در شرایط مطلوب با عملکرد بالا می‌تواند منجر به عملکرد بهتر تحت تنش شود که با نتایج سایر محققین در گندم نان همخوانی دارد (Amiri *et al.*, 2014، Farshadfar *et al.*, 2018 و Sangi *et al.*, 2021). مشخص شده است که شاخص‌های MP و STI همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند (Firozi *et al.*, 2012).

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص TOL و عملکرد پتانسیل نشان می‌دهد (جدول ۶) که گزینش لاین بر اساس مقدار کمتر این شاخص می‌تواند منجر به کاهش عملکرد در شرایط مطلوب گردد. نتایج مشابه در مطالعات قبلی بر روی گندم گزارش شده است (Najaphy and Geravandi,

جدول ۶- ضرایب همبستگی عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت

Table 6. Correlation coefficients of seed yield and tolerance and sensitivity indices

	YP	YS	RSI2	K2MSTI	SRI	SSI2	K1MSTI	DI	YI	YSI	RR	ATI	TOL	MP	STI	GMP	SSPI	RSI	HM	SSI	SNPI	PRR
YP	1.0	.99**	.53**	.36**	.51**	0.02	.35**	.51**	.55**	-0.02	0.02	.47**	.53**	.56**	.48**	.56**	.53**	-0.03	.56**	0.03	.44**	0.02
YS		1.00	.42**	.33**	.51**	-0.09	.31**	.51**	.53**	0.09	-0.09	.40**	.42**	.54**	.45**	.54**	.42**	0.08	.54**	-0.09	.48**	-0.09
RSI2			1.00	.66**	.56**	.39**	.710**	.55**	.68**	-.39**	.39**	.91**	1.0**	.75**	.74**	.74**	1.0**	-.40**	.73**	.39**	.41**	.39**
K2MSTI				1.00	.89**	-.25**	.99**	.89**	.91**	.25**	-.25**	.89**	.66**	.92**	.97**	.92**	.66**	.24**	.92**	-.26**	.80**	-.25**
SRI					1.00	-.48**	.88**	1.00**	.99**	.48**	-.48**	.81**	.56**	.97**	.95**	.97**	.56**	.47**	.97**	-.48**	.96**	-.48**
SSI2						1.00	-.20*	-.48**	-.35**	-1.0**	.99**	0.02	.39**	-.26**	-.25**	-.28**	.39**	-.99**	-.30**	.99**	-.63**	1.00**
K1MSTI							1.00	.87**	.90**	.20*	-.21*	.92**	.71**	.91**	.97**	.91**	.71**	.19*	.91**	-.21*	.78**	-.20*
DI								1.00	.99**	.48**	-.49**	.80**	.55**	.97**	.95**	.97**	.55**	.47**	.97**	-.49**	.96**	-.480**
YI									1.00	.35**	-.36**	.88**	.68**	.99**	.98**	.99**	.68**	.34**	.99**	-.36**	.91**	-.35**
YSI										1.00	-.99**	-0.02	-.39**	.26**	.25**	.28**	-.39**	.99**	.29**	-.99**	.64**	-1.00**
RR											1.00	0.02	.39**	-.27**	-.25**	-.28**	.39**	-.99**	-.30**	1.0**	-.64**	.99**
ATI												1.00	.91**	.92**	.94**	.92**	.91**	-0.03	.91**	0.02	.70**	0.02
TOL													1.00	.75**	.74**	.74**	1.0**	-.400**	.73**	.39**	.41**	.39**
MP														1.00	.99**	1.0**	.75**	.26**	1.0**	-.27**	.89**	-.26**
STI															1.00	.99**	.74**	.24**	.99**	-.26**	.86**	-.25**
GMP																1.00	.74**	.27**	1.0**	-.28**	.89**	-.28**
SSPI																	1.00	-.40**	.73**	.39**	.41**	.39**
RSI																		1.00	.28**	-.99**	.63**	-.99**
HM																			1.00	-.30**	.90**	-.29**
SSI																				1.00	-.64**	.99**
SNPI																					1.00	-.64**
PRR																						1.00

Sangi *et al*., 2021 2011;). شاخص‌های YI، HAM ، GMP، MP و STI همبستگی‌های معنی‌دار مثبتی با هم و همچنین با عملکرد دانه در شرایط دیم و آبی داشتند. می‌توان اینگونه بیان نمود که این شاخص ها برای انتخاب لاین هایی که در هر دو شرایط دیم و آبی عملکرد دانه خوبی دا شته با شند مناسب هستند؛ چرا که این شاخص‌ها قادر به جدا سازی لاین‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط هستند. در سایر مطالعات پیشین بر روی گندم نتایج مشابهی به دست آمده است (asghari *et al*., 2020; Sangi *et al*., 2021 ; Farshadfar *et al*., 2018).

تجزیه به مؤلفه‌های ا صلی با ا ستفاده از عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی در دو شرایط دیم و آبی باعث ایجاد ترکیب‌های خطی شاخص‌ها شد که بیشترین تنوع در داده‌ها را شامل شدند (Kamrani *et al*., 2016). استفاده از بایپلات نسبت به تحلیل همبستگی ساده برای شناسایی لاین‌های برتر در هر دو شرایط آبیاری و دیم سودمندتر است، چراکه لاین‌ها در این آنالیز به‌طور هم‌زمان برای تمام صفات مقایسه می‌شوند (Amiri *et al*., 2014)؛ بنابراین برای برر سی هم‌زمان روابط بین شاخص‌های تحمل به خشکی و لاین‌ها، تایید نتایج و غربال‌گری لاین‌ها با استفاده از اطلاعات چند شاخص به جای یک شاخص از تجز یه به مولفه های اصلی و آ نالیز بای‌پلات استفاده گردید.

هدف از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی کم نمودن حجم و تعداد داده‌هاست. در این روش، می‌توان از طریق بررسی همبستگی بین متغیرها روابط بین صفات را به دست آورد. در این نوع تجزیه، از طریق چند مولفه مستقل، رابطه همبستگی بین تعداد زیادی متغیر وابسته به دست می‌آید. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط مؤلفه‌های PCA1 مؤلفه اول و PCA2 مؤلفه دوم توجیه می‌شود، بنابراین تفسیر نتایج بر اساس این دو مؤلفه کارایی بالایی دارد (جدول ۷).

هرچند که مولفه سوم نیز مقدار ویژه بزرگ‌تر از ۱ داشت اما بر اساس نمودار شکست و همچنین بر اساس توجیه بالایی که دو مولفه اول در تغییرات دا شتند، برای ر سم نمودار بای‌پلات از دو مولفه اول ا ستفاده گردید (شکل ۲). بر ا ساس پلات دو بعدی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، تنوع ژنتیکی قابل توجهی در میان لاین‌های مورد بررسی مشاهده گردید. آنالیز نشان داد که مولفه اول همبستگی مثبت و بالایی با شاخص های K2MSTI، SRI، ATI، K1MSTI، DI، YI، MP، STI، GMP، HM و SNPI و از طرفی با YP و YS داشت، بنابراین این مولفه با تحمل به خشکی و عملکرد در دو محیط دیم و آبیاری مرتبط است (شکل ۳ و جدول ۷). مولفه دوم با شاخص‌های حساسیت و کاهش عملکرد در نتیجه تنش همچون RSI، SSI2، RR، SSI و PRR همبستگی مثبت و بالایی داشت و همچنین با شاخص‌های پایداری عملکرد همچون RSI و YSI همبستگی منفی و بالایی داشت. در نتیجه این شاخص بیانگر حساسیت به تنش در نظر گرفته شد. بنابراین انتخاب لاین‌هایی با مقادیر بالای مؤلفه اول و مقادیر کم مؤلفه دوم منجر به گزینش لاین های منا سب از نظر عملکردی در دو محیط دیم و آبیاری خواهد شد که با نتایج شهریاری و ملاصادقی (and Mollasadeghi Shahryari, 2011) تطابق دارد.

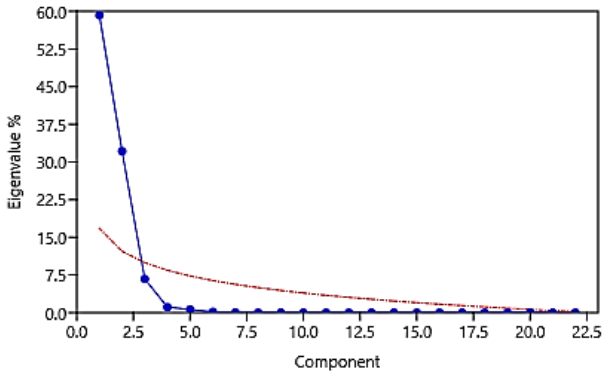
زاویه باز بین بردارها در شکل بای‌پلات نشان‌دهنده همبستگی منفی بین شاخص‌ها، زاویه قائمه بین بردارها نشانه مستقل بودن شاخص‌ها و زاویه بسته به معنای همبستگی مثبت بین شاخص‌ها است (Yan and Kang, 2002). با توجه به زاویه‌های بین شاخص‌ها در شکل (۴) می‌توان استنباط که شاخص‌های STI، MP، GMP، HAM، ATI، K1MSTI، K2MSTI و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد گندم در شرایط تنش و بدون تنش دارند. این نتیجه با گزارش‌های سایر محققین در مورد گندم نان همخوانی دارد (Amiri *et al*., Yarahmadi *et al*., Sangi *et al*., 2021; 2014;

2020). آن‌ها گزارش نمودند که شاخص‌های MP، STI و GMP برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش بسیار مناسب هستند. از ژنوتیپ‌های انتخابی می‌توان در انجام تلاقی‌ها به منظور ایجاد جمعیت‌های مختلف به‌منظور تولید لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط مطلوب و حساسیت کمتر به تنش خشکی استفاده نمود.

جدول ۷- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی

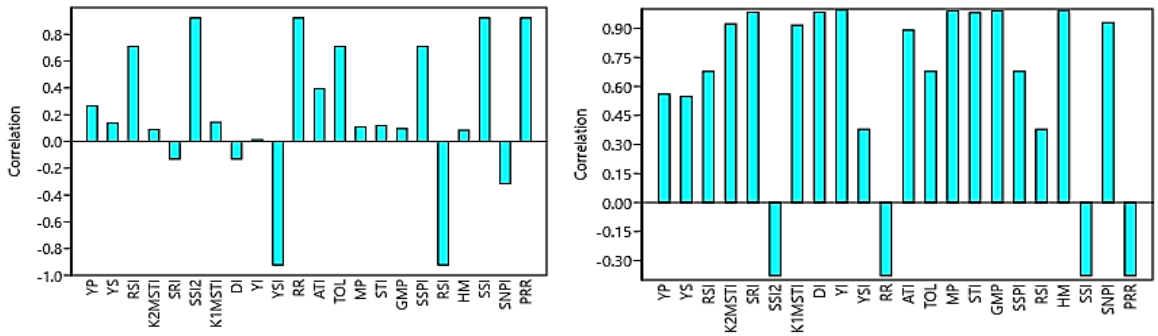
Table 7. The results of principal components analysis for drought tolerance indices

Principal component مولفه اصلی	PC 1	PC 2
Eigenvalue ریشه مشخصه	13.0298	7.06785
% Variance درصد واریانس	59.226	32.127
Cumulative Variance واریانس تجمعی	59.226	91.353
ضریب مولفه برای عملکرد و شاخص‌ها Principal component for Yield and indexes	PC 1	PC 2
YP	0.15517	0.099749
YS	0.15169	0.05142
RSI	0.1876	0.26726
K2MSTI	0.25571	0.033934
SRI	0.27216	-0.04962
SSI2	-0.10495	0.34693
K1MSTI	0.25388	0.053707
DI	0.27216	-0.04962
YI	0.27553	0.004904
YSI	0.10495	-3.47E-01
RR	-0.10495	0.34693
ATI	0.24674	0.148
TOL	0.1876	2.67E-01
MP	0.27432	0.041147
STI	0.27188	0.044945
GMP	0.27463	0.03625
SSPI	0.1876	0.26726
RSI	0.10495	-0.34693
HM	0.27488	0.031464
SSI	-0.10495	0.34693
SNPI	0.2575	-0.11848
PRR	-0.10495	0.34693



شکل ۲- نمودار مولفه‌ها و مقادیر ویژه

Fig. 2. Diagram of components and eigenvalues



شکل ۳- همبستگی مولفه‌های اول (راست) و دوم (چپ) با شاخص‌های محاسبه شده

Fig. 3. Correlation of the first (right) and second (left) components with the calculated indices

با توجه به بای پلات و مقادیر ویژه مولفه‌های اول و دوم برای ۱۴۴ لاین مورد بررسی (شکل ۴، جدول ۸) مشخص شد که لاین‌های ۷۹، ۹۰، ۱۳۱، ۱۴۰، ۱۱۷، ۱۰۲، ۱۰۰، ۱۳۲، ۱۲۵، ۱۰۳، ۱۱۴، ۱۲۸، ۱۳۸، ۱۴۳، ۱۱۸، ۱۱۶، ۵، ۹۸، ۱۳۷، ۱۰۱، ۴۴، ۹۷ و ۱۳۹ بیشترین مقادیر مولفه اول را داشتند و لاین‌های ۲۸، ۴۷، ۵، ۱۶، ۹۴، ۲۱، ۱۴۰، ۱۳۶، ۳، ۱۴۴، ۱۲۷، ۱۴۱، ۱۳۴، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۳۷، ۲، ۷۳، ۱۲۹، ۱۲۶، ۷۱، ۱۳۵ و ۱۳۹ کمترین مقادیر مولفه دوم را داشتند که نشانگر عملکرد بیشتر در هر دو شرایط، تحمل بیشتر به تنش و حساسیت کمتر به آن می‌باشد.

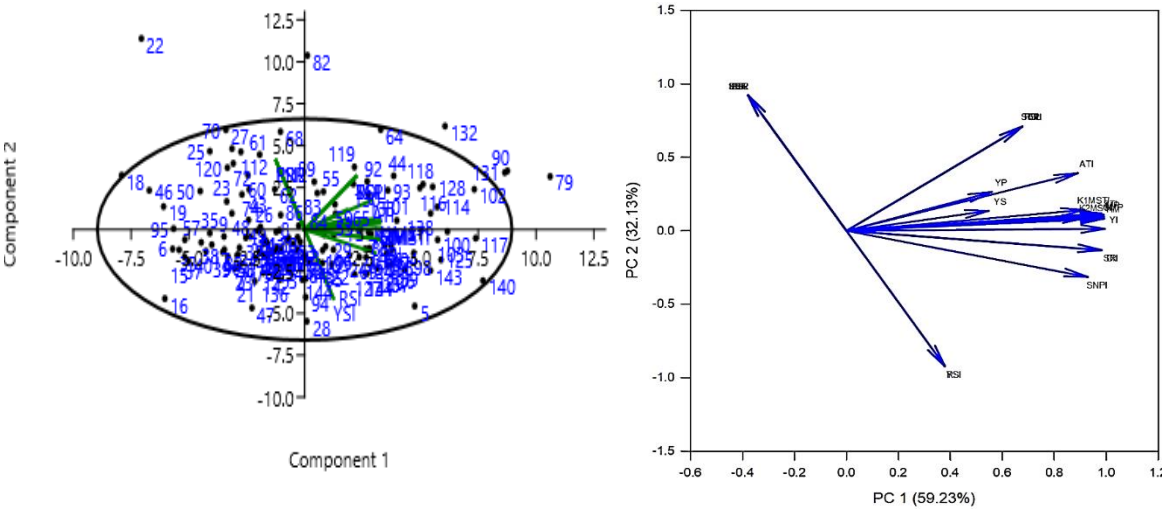
از لاین‌هایی که کمترین مولفه‌های اول و بیشترین مقادیر مولفه دوم را داشتند می‌توان در مناطق با میزان بارندگی مطلوب و یا برای شرایط آبی استفاده نمود. از طرف دیگر امکان استفاده از این لاین ها برای انجام تلاقی ها و تولید جمعیت های مختلف برای ایجاد لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط آبی استفاده کرد.

برای گزینش لاین‌های مناسب برای شرایط دیم، نمودار سه‌بعدی بر مبنای شاخص‌های عملکرد پتانسیل (YP)، عملکرد در شرایط تنش خشکی (YS) و شاخص تحمل تنش (STI) رسم گردید (شکل ۵). از نمودار سه‌بعدی می‌توان برای نمایش روابط متقابل بین سه شاخص YP، YS و STI و به‌منظور گزینش لاین‌های گروه A که نشان دهنده لاین‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هستند از سایر گروه‌های B، C و D و همچنین به منظور نشان دادن مزیت شاخص STI به‌عنوان معیار انتخاب برای شناسایی و گزینش لاین‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی استفاده نمود (Farshadfar *et al.*, 2018). در نمودار سه بعدی می‌توان لاین‌های ۱۱۶، ۱۰۳، ۱۳۲، ۹۰، ۱۳۱ و ۱۰۲ را در گروه A قرار داد که در واقع پایداری عملکرد بیشتری در هر دو شرایط داشتند. در مطالعه‌ای در گزینش ارقام متحمل به خشکی گشنیز بیان شده است که شاخص‌های تک‌متغیره ارتباط بیشتری با عملکرد میوه داشتند، همچنین اظهار داشتند که شاخص‌های STI و GMP به‌طور مستقیم برای انتخاب اکوتیپ‌های گروه C که عملکرد بالایی در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش دارند مناسب بودند (Eynizadeh *et al.*, 2018). مشخص شده است که دو شاخص GMP و STI رابطه بالایی با یکدیگر دارند و در رسم نمودار سه‌بعدی فرناندز استفاده می‌شوند. از طرفی شاخص‌های TOL و MP برای گزینش اکوتیپ‌های گروه B که عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش و عملکرد پایین در شرایط تنش دارند مناسب هستند. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که این موضوع می‌تواند به‌دلیل وجود اختلاف زیاد بین عملکرد میوه در شرایط تنش و بدون تنش باشد که در این دو شاخص باعث ایجاد انحراف به سمت عملکرد در شرایط بدون تنش می‌شود (Eynizadeh *et al.*, 2018).

جدول ۸- مقادیر مولفه اول و دوم برای لاین‌ها

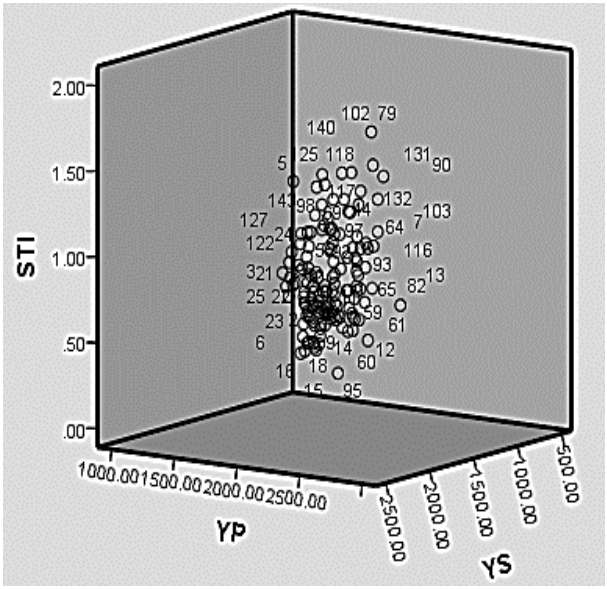
Table 8. The values of the first and second components for the lines

line	PC 1	PC 2	line	PC 1	PC 2	line	PC 1	PC 2
1	0.26997	-1.8404	49	-2.4248	0.56502	97	3.7783	-1.1853
2	-3.0063	-2.325	50	-4.5147	2.2916	98	4.7147	-1.3975
3	-0.10496	-2.9873	51	-2.883	-1.5054	99	1.2406	-1.1969
4	-1.6694	-0.6815	52	0.032962	-1.5798	100	6.1714	-0.11764
5	4.7552	-4.5659	53	1.332	0.94061	101	3.9807	0.53742
6	-5.7067	-1.1605	54	-0.84797	-1.7645	102	7.3314	2.3992
7	2.7576	-0.16932	55	0.81089	2.2573	103	5.745	-0.61149
8	-1.0377	0.86779	56	-2.9209	-1.553	104	3.7319	-0.9037
9	-3.4886	-0.41792	57	-5.1804	-0.60708	105	-1.2007	-1.1348
10	0.77502	-1.241	58	-1.9717	-1.3277	106	0.90437	-1.0116
11	-1.4062	-1.3883	59	1.3096	1.5	107	-1.099	-1.1971
12	-0.19308	-0.72981	60	-2.4504	3.246	108	-1.3108	-1.2296
13	2.7975	-1.1147	61	-1.9466	4.4704	109	-1.5878	-0.88321
14	-2.035	-0.07152	62	-1.2907	2.3939	110	-1.784	-0.85793
15	-5.0296	-1.8645	63	-0.30619	-0.46343	111	-1.0223	-1.0747
16	-6.0441	-4.1191	64	3.2864	5.9582	112	-2.7583	4.6328
17	-4.0152	-0.90843	65	2.3433	-0.11246	113	-0.49492	-0.8519
18	-7.9119	3.2391	66	3.4751	-0.94224	114	5.7336	1.3443
19	-6.1011	1.3677	67	0.16107	-1.872	115	3.5468	-1.4289
20	-2.3417	-0.42432	68	-1.0466	5.8391	116	4.9778	2.4809
21	-2.1557	-3.0818	69	2.3606	-1.6406	117	7.388	-0.51795
22	-7.0585	11.393	70	-3.4041	5.9486	118	5.1189	2.6976
23	-3.3712	1.6715	71	-2.7994	-2.1044	119	2.1473	3.7265
24	1.9351	-1.5379	72	-3.0861	3.942	120	-3.3414	3.6881
25	-4.1006	4.6661	73	-3.0103	-2.3066	121	-1.6138	-1.7201
26	-1.9134	0.15195	74	-2.7117	2.0945	122	0.77056	-1.9927
27	-3.1406	4.8257	75	-1.7753	-1.5499	123	-1.5589	-1.4101
28	0.09451	-5.4712	76	-2.1136	-1.7179	124	2.6531	-1.661
29	1.26	-0.34328	77	-0.69651	-0.49854	125	5.8942	-1.8052
30	-1.0945	-0.04864	78	-0.04461	-1.5956	126	3.594	-2.1459
31	-1.2307	-0.1383	79	10.609	3.1596	127	2.1669	-2.6707
32	-2.546	-0.48641	80	-0.75406	-0.68467	128	5.5319	2.546
33	-5.4253	-1.2122	81	-1.9577	-0.08186	129	3.1328	-2.3048
34	-2.82	-1.0826	82	0.11758	10.381	130	2.1047	2.7167
35	-4.1004	-0.2185	83	0.54366	2.175	131	8.6484	3.3958
36	-1.734	-1.6059	84	0.83529	-0.31302	132	6.0652	6.1686
37	-5.1919	-1.6361	85	2.8753	-0.26189	133	2.7546	2.1036
38	-4.4737	-0.77028	86	-0.26011	0.22743	134	2.641	-2.6134
39	-3.3177	-1.6096	87	-0.34184	-1.1978	135	1.1659	-2.0767
40	-4.2668	-1.2968	88	-3.4707	-1.1976	136	-1.0759	-2.9949
41	-1.908	-1.4006	89	0.41247	2.844	137	4.3148	-2.4149
42	-1.7761	-0.40646	90	8.7657	3.4956	138	5.4435	0.96585
43	-2.3997	2.3817	91	2.6196	-1.1507	139	3.7524	-2.0671
44	3.8469	3.2012	92	2.7024	2.872	140	7.7033	-3.0498
45	0.57382	-1.9109	93	3.5952	2.3411	141	2.6942	-2.6169
46	-6.7192	2.3372	94	0.039426	-4.0318	142	-1.7938	-2.5847
47	-2.2795	-4.676	95	-5.666	0.05264	143	5.4382	-2.4472
48	-3.1451	0.96609	96	-3.5413	-1.355	144	0.045722	-2.9328



شکل ۴- بای پلات لاین‌ها بر اساس مولفه اول و دوم با استفاده از شاخص‌ها

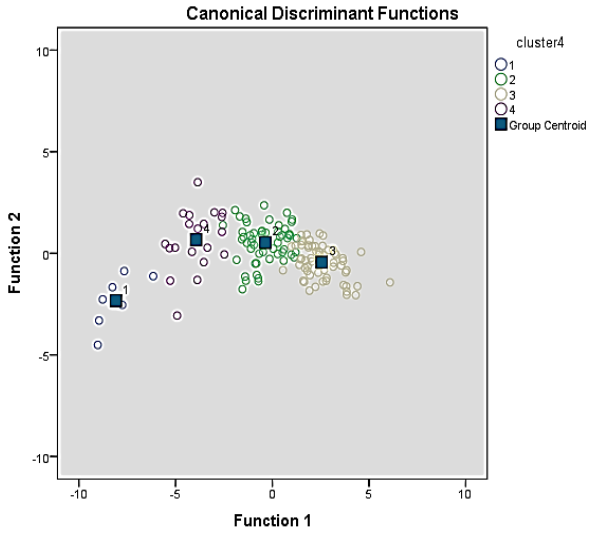
Fig. 4. Biplot lines based on the first and second components using indices



شکل ۵- نمودار سه‌بعدی لاین‌های بر اساس عملکرد پتانسیل (YP)، عماکرد تحت تنش (YS) و شاخص STI

Figure 5. 3D graph of lines based on YP, YS and STI index

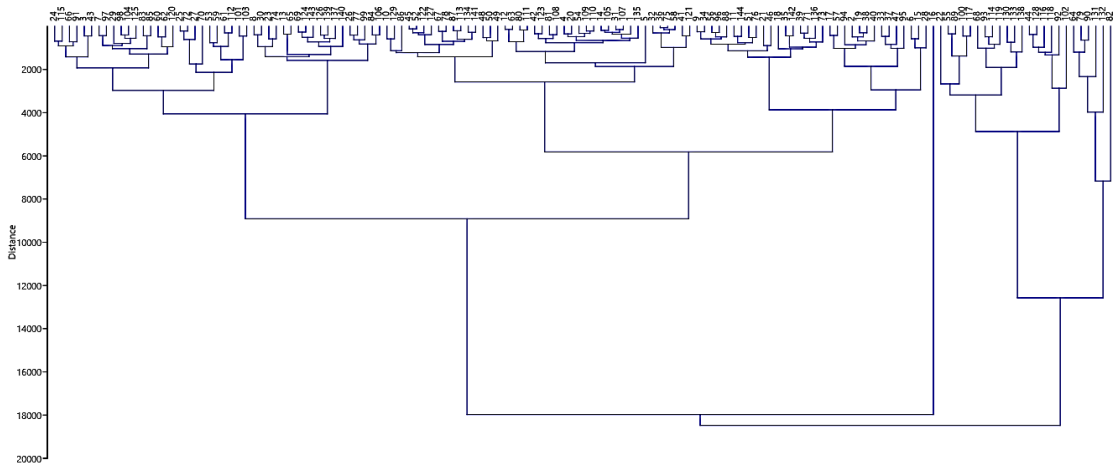
برای تعیین بهترین روش تجزیه خوشه‌ای ۱۴۴ لاین بر مبنای فاصله اقلیدسی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط آبی و دیم از ضریب همبستگی کوفنیک استفاده شد و روش Paired group (UPGMA) با ضریب ۰/۷۷ نسبت به روش های single linkage و ward's method به ترتیب با ضرایب ۰/۷۰ و ۰/۷۰ انتخاب گردید. برای تعیین خط برش کلاستر از روش تابع تشخیص استفاده گردید. بر این اساس لاین‌ها به چهار گروه تقسیم شدند. ضریب لامبدای ویلکس برای سه تابع شناسایی شده بسیار معنی‌دار بود (۰/۰۰۰۱) و صحت گروه‌بندی ۹۵/۸ درصد بود (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار تابع تشخیص خوشه‌بندی لاین‌ها به ۴ گروه

Fig. 6. Diagram of discriminant function for clustering lines into 4 groups

پژوهش‌های متعددی در ارتباط با گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و لاین‌های گندم با استفاده از روش‌های چندمتغیره انجام شده است (Alavi-Siney and Saba, 2015; Saba *et al.*, 2018). در این بررسی بر اساس تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های ۸۲، ۱۳۲، ۱۳۱، ۹۰، ۷۹، ۶۴، ۱۰۲ در خوشه اول گروه A قرار گرفتند. میانگین عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی و عملکرد شرایط دیم در لاین‌های این خوشه به ترتیب برابر با ۲۶۱۹/۵ و ۱۹۱۴ کیلوگرم در هکتار بود که بیشترین عملکرد تحت هر دو شرایط بود. لاین های ۷۰، ۱۰۱، ۱۰۳، ۹۲، ۱۱۶، ۱۱۸، ۱۲۸، ۴۴، ۱۳۸، ۱۳۳، ۱۳۰، ۱۱۹، ۱۱۴، ۹۳، ۶۸، ۱۱۷، ۱۰۰، ۸۹، ۵۵ و ۲۲ در خو شه چهارم و گروه B قرار گرفتند (۱۹۰۵/۶۴ و ۱۴۷۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم) (شکل ۷). خوشه سوم شامل ۶۱ لاین بود که میانگین عملکرد در هر دو شرایط نسبت به خوشه‌های دیگر کمتر بود (به‌ترتیب برابر با ۱۷۹۷/۲۵ و ۱۳۸۲/۵۸ کیلوگرم در هکتار) و بدین ترتیب در گروه D قرار گرفت.



شکل ۷- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌ها

Fig. 7. Dendrogram resulting from cluster analysis based on indices

نتیجه‌گیری

تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه اکثر لاین‌ها در شرایط دیم گردید. لاین ۸۲ بیشترین عملکرد را در شرایط آبیاری تکمیلی داشت (۲۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط دیم نیز یکی از بیشترین عملکردها را داشت (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار). لاین ۲۱ کمترین عملکرد در شرایط دیم (۸۲۵ کیلوگرم در هکتار) را داشت و در شرایط آبیاری تکمیلی نیز دارای یکی از کمترین عملکردها بود (۱۱۱۳ کیوگرم در هکتار). شاخص‌های SRI، DI، HM، MP،GMP و YI همبستگی معنی‌دار و مثبت با عملکرد دانه در شرایط آبی و دیم نشان دادند و برای گزینش لاین‌های با پایداری عملکرد بالا در هر دو شرایط دیم و آبی مطلوب هستند. بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای‌پلات، نمودار سه بعدی و تجزیه خوشه‌ای لاین‌های ۸۲، ۱۳۲، ۱۳۱، ۹۰، ۷۹، ۶۴، ۱۰۲ به عنوان لاین‌های برتر با تحمل بالا به خشکی و پایداری عملکرد مطلوب در هر دو شرایط شناسایی و گزینش شدند. باتوجه به نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌گردد که اولاً از شاخص‌های SRI، DI، HM، MP،GMP و YI که بیشترین همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد در شرایط دیم و آبی را دارند و قادر به شناسایی لاین‌های گروه A هستند در گزینش لاین‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط استفاده نمود؛ و ثانیاً غربال‌گری و گزینش براساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای‌پلات و خوشه‌بندی با استفاده از اطلاعات چند شاخص انجام گیرد.

منابع

Alavi-Siney SM, Saba J. 2015. Analysis of yield and yield components traits in twenty bread wheat genotypes under dryland conditions. Philippine journal of crop science40(2): 78-87.

Amiri R, Bahraminejad S, Sasani S, Ghobadi M. 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. Bulgarian Journal of Agricultural Science 20: 101-111.

Asghari A, Tadili S, Karimizadeh R, Sofalion O, Mohammaddoust Chamanabad H. 2020. Evaluation of Stress Tolerance in Durum Wheat Genotypes Based on Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding 12: 185-198.

Bidinger F, Mahalakshmi V, Rao GDP, 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. Australian Journal of Agricultural Research 38(1): 49–59.

Betran F, Beck D, Bänziger M, Edmeades G. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. Crop Science 43: 807-817.

Biglouie MH, Assimi MH, Akbarzadeh A. 2010. Effect of water stress at different stages on quantity and quality traits of Virginia (*flue cured*) tobacco type. Plant Soil Environment 2: 67-75.

Bouslama M, Schapaugh W. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of there screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.

Byrne P, Bolanos J, Edmeades G, Eaton D. 1995. Gains from selection under drought versus multilocation testing in related tropical maize populations. Crop Science 35: 63-69.

Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS. 2003. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Ehdaie B, Whitkusb RW, Wainesa JG, 2003. Root biomass, water-use efficiency, and performance of wheat–rye translocations of chromosomes 1 and 2 in spring bread wheat 'Pavon'. Crop Science 43: 710-717.

Eynizadeh P, Dehghani H, Khodadadi M. 2018. Selecting Drought Tolerant Endemic Coriander Ecotypes Based on Fruit Yield and Related Traits Using Univariate and Multivariate indices. Isfahan University of Technology - Journal of Crop Production and Processing 8: 99-115.

Farshadfar E, Poursiahbidi MM, Safavi SM. 2018. Assessment of drought tolerance in landraces of bread wheat based on resistance/tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1:143-158.

Fernandez GC. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. P. 257-270. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. 13-16 Aug. 1992. Shanhua. Taiwan.

Firozi B, Sofalian O, SHokrpour M, Rasolzadeh A, Ahmadpoor F. 2012. Assessment of Drought Tolerance Indices and their Relation with ISSR Markers in Bread Wheat (*Triticum aestivum*L.). Notulae Scientia Biologicae 4: 143-150.

Fischer R, Wood J. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morphophysiological traits. Australian Journal of Agricultural Research 30(6): 1001–1020.

Fischer R, Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.

Fleury D, Jefferies S, Kuchel H, Langridge P. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. Journal of Experimental Botany 61: 3211-3222.

Hammer Q, Harper DAT, Rayan PD. 2001. PAST: paleontological statistics software pakage for education and data analaysis, palaentologia electronica 4: 9 pp.

Gavuzzi P, Rizza F, Palumbo M, Campanile R, Ricciardi G. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77(4): 523–531.

Ilyas Khokhar M, Teixeira da Silva AJ, Spiertz H. 2012. Evaluation of Barley Genotypes for Yielding Ability and Drought Tolerance under Irrigated and Water-stressed Conditions. AmericanEurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 12: 287-292.

Ji XM, Shiran B, Wan JL, Lewis DC, Jenkins CLD, Condon AG, Richards RA, Dolferus R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant Cell and Environment 33: 926-942.

Kamrani M, Ebadi A, Mehreban A. 2016. Evaluation of grain yield-based drought tolerance indices for screening durum wheat genotypes. Jordan Journal of Agricultural Sciences 12: 649-665.

Lan J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica 7: 85-87.

Lesk C, Rowhani P, Ramankutty N. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. Nature 529: 84–87.

Li P, Chen J, Wu P, 2011. Agronomic characteristics and grain yield of 30 spring wheat genotypes under drought stress and nonstress conditions. Agronomy Journal 103: 1619-1628.

Mitra J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Current Science 80: 758-763.

Mohammadi R, Amri A. 2011. Graphic analysis of trait relations and genotype evaluation in durum wheat. Journal of Crop Improvement 25: 680-696.

Moosavi SS, Yazdi Samadi B, Naghavi MR, Zali AA, Dashti H, Pourshahbazi A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert 12: 165-178.

Naeimi M, Akbari GA, Shiranirad AH, Modares SS, Sadat NS, Jabari H. 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Electronic Journal of Crop Production 1(3): 83-98. (In Persian).

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.

Nazari H, Rostaii M. Alavi-Siney SM. 2023. Selection of superior bread wheat lines under rainfed condition of Zanjan based on moroho-phenological traits. Environmental stresses in crop sciences 16: 547-560.

Nevo E, Chen GX. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. Plant Cell and Environment 33: 670-685.

Rahmati H, Nakhzari Moghadam A, RahemiKarizaki A. avarseji Z. 2020. Evaluation of Drought Tolerance in Durum Wheat Genotypes using Drought Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding 12: 174-183 (In Persian).

Rathjen A. 1994. The biological basis of genotype×environment interaction: its definition and management. P. 13-17. Proceedings of the Seventh Assembly of the Wheat Breeding Society of Australia, Adelaide. Australia.

Reynolds M, Bonnett D, Chapman SC, Furbank RT, Manes Y, Mather DE, Parry MAJ. 2011. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. Journal of Experimental Botany 62: 439-452.

Rosielle AA, Hamblin J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. Crop Science 21: 943-46.

Saed Moucheshi A, Heidari B. Farshadfar EA. 2010. Evaluation of stress indices for drought tolerance screening of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Crop Breeding 1: 49-64 (In Persian).

Sangi SE, Najaphy A, Cheghamirza K, Mohammadi R. 2021. Assessment of drought tolerance indices for durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences 14:901-911

Shahryari R, Mollasadeghi V. 2011.Introduction of two principle components for screening of wheat genotypes under end seasonal drought. Advances in Environmental Biology 5: 519-523.

Sio-Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K, Mohammadi V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop research 98: 222-229.

Tahmasbali M, Darvishzadeh R, Fayaz Moghaddam A, Alipour H. 2021. Selection of tolerant genotypes to broomrape Orobanche cernua stress in oriental tobacco Nicotiana tabacum genotypes using stress tolerance indices. Journal of Applied Research in Plant Protection 9: 83-100.

Yan W, Kang MS. 2002. GGE biplot analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC press.

Yarahmadi S, Nematzade G, sabouri H, Najafi Zarini H. 2020. Relationships Between Drought Stress Tolerance Indices and Their Use in Wheat Screening Programs. Journal of Crop Breeding 12: 29-41

Zwart SJ, Bastiaanssen WGM. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. Agricultural Water Management 69: 115-133

DOI: 10.22092/IDAJ.2023.361762.397

Estimation of drought stress resistance indices in order to select dry wheat lines for cold regions of Iran

Hossein Nazari[1*], Morteza Eshraghi-Nejad[2], Mozaffar Rostaii[3], Seid Mohammad Alavi-Siney[2]

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan , Agricultural Research Education & Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Southern Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education & Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran.

3- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), Maragheh, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Abstract

Introduction: As one of the most important plants of the cereal family, wheat plays a very important role in world food security. The problem of food security in the world is facing a serious challenge due to severe climate changes and a lack of supplementary irrigation resources. Understanding the responses of plants to drought is the main part of the development of stress-resistant cultivars. The relative performance of genotypes under drought stress conditions and optimal conditions is one of the necessary and preliminary points in choosing the optimal genotypes for dry conditions. This study was conducted with the aim of identifying the relationships between indicators and determining the best indicators of drought tolerance, as well as selecting the best wheat lines suitable for cold and rainy regions for future breeding programs.

Materials and Methods: In order to identify the relationships between drought tolerance indices and determine the best index as well as select the best lines for future breeding programs, 144 wheat lines in the form of Alpha Lattice design in two replications and in two conditions of rain and supplementary irrigation in The rain research station of Zanjan Agricultural Research Center were investigated. Different tolerance and sensitivity indices including relative stress index (RSI), stress sensitivity index (SSI), stress resistance index (SRI), performance index (YI), performance stability index (YSI), relative reduction index (RR), Abiotic Stress Index (ATI), Tolerance Index (TOL), Mean Production Index (MP), Stress Tolerance Index (STI), Geometric Mean Productivity (GMP), Stress Sensitivity Percentage Index (SSPI), Harmonic Mean (HM)), the index of product of stress and non-stress environment (SNPI) and yield loss ratio (PRR) were calculated.

Research finding: The results of combined variance analysis showed that the effect of wet and rainy environment on the performance of lines was significant at the level of 1%. Also, the lines showed a significant difference in grain yield at the level of 1%. Drought stress decreased the grain yield of most lines in dry conditions. Line 82 had the highest yield in potential (2876 kg/ha) and rainfed (2000 kg/ha) conditions. Line 21 also had the lowest performance in two conditions (rainfed 825 and supplementary irrigation 1113 kg/ha respectively). Correlation results showed that grain yield in supplementary irrigation conditions had a positive and significant correlation with MP (0.56), GMP (0.56), HM (0.56), YI (0.55) and TOL (0.56) indicators. had 0.53). In the conditions of stress, MP (0.54), GMP (0.54), HM (0.54), and YI (0.53) indicators had the highest correlation with performance. Based on the first two selected components resulting from the decomposition into main components, which justified 91.35% of the changes, lines 90 and 102 were selected, which were also confirmed based on the three-dimensional diagram. The results of the cluster analysis of the lines also placed them in four groups, and lines such as 90, 131, 102 and 132 were also included in the group with high performance in both conditions. According to the results of this study, it is suggested to use the indicators of stress resistance, harmonic mean, geometric mean, and performance stability, which have the most significant positive correlation with performance in wet and dry conditions, in the selection of lines; Also, screening should be done based on the results of analysis into principal components and biplot and clustering using several indicators.

Keywords: Clustering; Drought stress; Principal components; Sensitivity indices

[*] Corresponding author*: nazary28@gmail.com* Submit date: 2023/03/11 Accept date: 2023/09/03