دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال نهم، شماره سی و یک ، ۱۳۹۶

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ های گندم نان با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

آزاده شیبانی راد[۱]، عزت الله فرشادفر[۲]،عبدالله نجفی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۷/۲٦ تاریخ پذیرش:۱۳۹٤/۱۰/۳

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان، تعداد ۲۰ ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه رازی در سال زراعی۹۰-۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، ١٤ شاخص تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل به تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تغییریافته تحمل تنش (MSTI)، شاخص تنش غیر زیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) و شاخص تولید در شرایط تنش و غیر تنش (SNPI) برای کلیه ژنوتیپ‌ها محاسبه شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی (تنش و بدون تنش) وجود داشت. مطالعه همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که شاخص‌های GMP، MP، STI، MSTI، YI ، DI و HM برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول در هر دو محیط مناسب می‌باشند، که در بین آن‌ها دو شاخص STI وMP به عنوان مناسب‌ترین معیارها برای انتخاب ارقام متحمل شناخته شدند. بر اساس یافته‌های حاصل از این شاخص‌ها و روش بای پلات، ژنوتیپ‌های ٤، ٨ ، ١٦ و ١٩ متحمل به خشکی بودند و عملکرد بالایی در هر دو شرایط محیطی داشتند. نتایج حاصل از نمودار سه‌بعدی، با نتایج روش بای پلات و تجزیه کلاستر و روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز، این موضوع را تأیید کردند.

واژه‌های کلیدی : تنش رطوبتی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ، بای پلات، عملکرد گندم

شیبانی راد، آ. و ع. فرشادفر. ۱۳۹٦. ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ های گندم نان با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۱: ۱-۱٤.

.

۱-دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه، مسول مکاتبات. پست الکترونیک: sheibanirad2010@gmail.com

۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) اولین غله و مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است (خالد و همکاران، ۲۰۱۵)، که غذای اصلی بخش عمده‌ای از جمعیت رو به افزایش جهان را تأمین می‌کند (جلال کمالی، ۱۳۸۷). در ایران، ٦٧ درصد گندم در سرزمین‌های خشک کشت می‌شود (شمسی و همکاران، ۲۰۱۱)؛ به همین دلیل برنامه‌های اصلاحی زیادی برای ایجاد ژنوتیپی با عملکرد بالا برای محیط‌های خشک انجام شده است.

بهترین راهکار برای بهبود عملکرد و پایداری عملکرد گیاه زراعی در شرایط خشکی، ایجاد واریته‌های متحمل به خشکی است (فرشادفر و همکاران، ۲۰۱۱). پایداری و ثبات عملکرد نشان دهندهٔ تفاوت بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در طول مدت تنش محیطی است (نبی‌پور و همکاران، ۱۳۸۰). در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پتانسیل عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار برای تحمل به خشکی نیست، بلکه پایداری عملکرد و مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به عنوان معیارهای مناسب‌تری برای سنجش واکنش ارقام به تنش رطوبتی معرفی شده‌اند (گلستانی و پاک‌نیت، ١٣٨٦).

فرناندز (۱۹۹۲) ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکردشان در شرایط تنش و بدون تنش به چهار گروه تقسیم کرد: (۱) ژنوتیپ‌هایی که تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش عملکرد بالایی تولید می‌کنند (گروه A). (۲) ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش (گروه B) (۳) ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط تنش (گروه C). (٤) ژنوتیپ‌هایی با نمود ضعیف در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه D).

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها به خشکی ارائه شده است و مناسب‌ترین معیار جهت انتخاب در محیط‌های تنش، شاخصی است که قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A باشد (فرناندز، ۱۹۹۲)؛ این شاخص‌ها از طریق شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش و بدون تنش در دستیابی به نمونه‌های برتر مؤثرند (جعفری و همکاران، ۲۰۰۹).

یکی از شاخص‌های انتخاب، حساسیت به تنش[1] (SSI) می‌باشد که فیشر و مورر (۱۹۷۸) آن را پیشنهاد دادند. شاخص‌های تحمل به تنش[2] (STI) و میانگین هندسی[3] (GMP) توسط فرناندز (۱۹۹۲) معرفی شدند. لان (۱۹۹۸)، شاخص مقاومت به خشکی[4] (DI) را پیشنهاد نمود. شاخص‌های تحمل[5] (TOL) و میانگین بهره‌وری[6] (MP) توسط روسیل و هامبلین (۱۹۸۱) معرفی شده است.

شاخص عملکرد[7] (YI) ارقام را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های گروه A را تشخیص نمی‌دهد (گاووزی و همکاران، ۱۹۹۷). شاخص پایداری عملکرد[8] (YSI) توسط بوسلاما و شاپاگ (١٩٨٤) معرفی شد، که عملکرد یک رقم را در شرایط تنش ارزیابی می‌کند. ارقامی با YSIبالاتر، می‌بایست در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد بالاتری داشته باشند. اما در مطالعه سی‌وسه‌مرده و همکاران (٢٠٠٦) ارقامی با YSI بالاتر حداقل عملکرد را در شرایط غیر تنش و بالاترین عملکرد را تحت شرایط تنش نشان دادند.

فرشادفر و استوکا (۲۰۰۲) جهت بهبود کارایی STI شاخص تغییر یافته تحمل تنش[9] (MSTI) را پیشنهاد کردند، که در آن فرمول STI، توسط وزنه‌ای اصلاح می‌گردد. موسوی (۲۰۰۸)، شاخص تنش غیر زیستی[10] (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش[11] (SSPI) و شاخص تولید در شرایط تنش و غیر تنش[12] (SNPI) را معرفی نمود. در مطالعه آن‌ها، دو شاخص ATI و SSPIنسبت به شاخص‌های TOL و SSI در شناسایی ژنوتیپ‌هایی که تحمل نسبی به تنش خشکی داشتند، کارایی بیشتری نشان دادند. این محققین، همبستگی مثبت بین SNPI و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و همبستگی منفی بین SNPI با SSI و TOL گزارش کردند؛ به نظر می‌رسد این شاخص توانایی تشخیص ژنوتیپ‌هایی با عملکرد و پایداری زیاد را داشته باشد.

امیری و همکاران (٢٠١٤) شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، HM و MSTI همبستگی معنی‌داری بین با عملکرد شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در پژوهش‌های عبدی و همکاران (۲۰۱۲) و گل‌آبادی و همکاران (٢٠٠٦) همبستگی مثبت و

1 stress susceptibility index
2 stress tolerance index

3 geometric mean productivity
4 drought resistance index
5 tolerance index
6 mean productivity
7 yield index
8 Yield stability index
9 modified stress tolerance index
10 Abiotic tolerance index
11 Stress susceptibility percentage index
12 Stress non-stress production index

معنی‌داری بین شاخص‌های STI، MP و GMP با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و همبستگی منفی و معنی‌داری بین شاخص‌های SSI و TOL با عملکرد در شرایط تنش مشاهده شد.

حق‌پرست و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی مقاومت به خشکی بیان کردند که STI بهترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشد و برای انتخاب از بین ژنوتیپ‌هایی با STI یکسان، از شاخص TOL و SSI کارایی بیشتری دارد. هدف از اجرای این تحقیق شناسایی بهترین شاخص برای بررسی تحمل به خشکی و همچنین غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی آزمایشی با استفاده از ۲۰ ژنوتیپ گندم نان که از مرکز اصلاح بذر کرج تهیه شده بود، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبی و دیم در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه رازی (طول جغرافیایی ٤٧ درجه و ٢٠ دقیقه – عرض جغرافیایی ٣٦ درجه و ٢٠ دقیقه با ارتفاع ١٣٥١ متر از سطح دریا و بافت خاک رسی - سیلتی در سال زراعی ٩٠-١٣٨٩ انجام شد. میزان بارندگی در سال زراعی حدود ٥٠٩/٥ میلی‌متر گزارش شد. در مزرعه هر کرت شامل ٤ خط ٢ متری، با فاصله خطوط ٢٠ سانتی‌متر و تراکم ٤٠٠ بذر در مترمربع بود. کشت در تاریخ ١٣٨٩/٨/١٤ انجام شد و آبیاری در مرحله جوانه‌زنی به منظور رسیدن به سطح سبز یکنواخت در هر دو شرایط انجام شد. در شرایط تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه آبیاری اعمال نشد در صورتی که در شرایط بدون تنش از زمان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک در سه نوبت (اوایل گلدهی، اواسط دانه‌بستن و اواخر دانه‌بستن) تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ١ ارائه شده است. بر اساس آزمون خاک، از کود استفاده نشد.

جدول ١- خصوصیات خاک مزرعه در عمق ٠-٣٠ سانتی‌متری

بافت خاک	ذرات خاک (٪)			کربن آلی	پتاسیم	فسفر	مقدار کل نیتروژن	ماده آلی	آهک خاک	اسیدیته	EC
	شن	سیلت	رس	(٪)	(ppm)	(ppm)	(٪)	(٪)	(٪)	(pH)	($ds.m^{-1}$)
رسی	١٣/٧٢	٣٦	٥٠/٢٨	١/٢٥	٤٩٠	٥	٠/١٢	٢/١٦	١٢/٥	٧/٦	٠/٣١

E.C.= Electerical Conductivity

اندازه‌گیری عملکرد، پس از حذف اثر حاشیه‌ای (حذف نیم متر از دو انتهای هر کرت)، باقیمانده محصول برداشت و عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع ثبت شد. نام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ٢ نشان داده شده است.

جدول ٢- نام و کد ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش

Genotype no.	نام ژنوتیپ	Genotype no.	نام ژنوتیپ
1	WC-4537	11	WC-4889
2	Wc- 4829	12	WC-4515
3	Wc- 4536	13	WC-4780
4	Wc-4937	14	WC-4592
5	WC-4594	15	WC-4610
6	WC-4924	16	WC-4992
7	WC-4888	17	WC-4995
8	WC-4823	18	WC-4573
9	WC-4827	19	WC-shahryar
10	WC-4582	20	WC-5047

شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$SSI = \frac{1-(Y_S/Y_P)}{1-(\overline{Y}_S/\overline{Y}_P)}$$ (فیشر و مورر، ١٩٧٨)

$TOL = Y_P - Y_S$ (روسیل و هامبلین، ١٩٨١)

$$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2}$$ (روسیل و هامبلین، ۱۹۸۱)

$$GMP = \sqrt{(Y_S \times Y_P)}$$ (فرناندز، ۱۹۹۲)

$$STI = \frac{Y_S \times Y_P}{\overline{Y}_P^{\,2}}$$ (فرناندز، ۱۹۹۲)

MSTI=Ki STI و $K1 = \frac{Y_P^2}{Y_P}$ $K2 = \frac{Y_S^2}{Y_S}$ (فرشادفر و استوکا، ۲۰۰۲)

$$YI = \frac{Y_S}{\overline{Y}_S}$$ (گاووزی و همکاران، ۱۹۹۷)

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P}$$ (بوسلاما و شاپاگ، ۱۹۸٤)

$$DI = Ys \times \frac{\left(Y_S/Y_P\right)}{\overline{Y}_S}$$ (لان، ۱۹۹۸)

$$RDI = \left(Y_S/Y_P\right) / \left(\overline{Y}_S/\overline{Y}_P\right)$$ (فیشر و همکاران، ۱۹۷۹)

$$ATI = \left[\left(Y_P - Y_S\right)/\left(\overline{Y}_P - Y_S\right)\right] \times \sqrt{Y_P \times Y_S}$$ (موسوی و همکاران، ۲۰۰۸)

$$SSPI = \left[\frac{(Y_P - Y_S)}{2\overline{Y}_P}\right] \times 100$$ (موسوی و همکاران، ۲۰۰۸)

$$SNPI = \left[\sqrt[3]{(Y_P + Y_S)/(Y_P - Y_S)}\right] \times \sqrt[3]{Y_P \times Y_S \times Y_S}$$ (موسوی و همکاران، ۲۰۰۸)

در روابط فوق شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص تغییر یافته تحمل تنش (MSTI)، شاخص تنش غیر زیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) و شاخص تولید در شرایط تنش و غیر تنش (SNPI) با استفاده از عملکرد دانه (Y_S) در شرایط تنش، عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب (Y_P)، میانگین عملکرد همهٔ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش ($\overline{Y}_S$) و میانگین عملکرد همهٔ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ($\overline{Y}_P$) محاسبه شد. در شاخص MSTI، مقدار Ki ضریب تصحیح کننده مدل STI است که با توجه به شرایط محیطی و احتمال بروز شرایط مطلوب یا نامطلوب در آن محیط محاسبه می‌شود. مقدار K1 نسبت مجذور عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط مطلوب به مجذور میانگین عملکرد همه ژنوتیپ ها در همان شرایط است. مقدار K2 نسبت مجذور عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش به مجذور میانگین عملکرد همه ژنوتیپ ها در آن شرایط است.

تجزیه واریانس بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر روی عملکرد دانه در هر دو شرایط و مقایسه میانگین‌ها با استفاده ازمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های مقاومت با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 محاسبه و بر اساس تحلیل این همبستگی‌ها، مناسب‌ترین شاخص تعیین شد. نمودار سه‌بعدی بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با هر یک از شاخص‌های مقاومت به خشکی نیز توسط این نرم‌افزار ترسیم شد و پراکندگی ژنوتیپ‌ها در نواحی چهارگانه ذکر شده توسط فرناندز مشخص گردید. تجزیه خوشه‌ای شاخص‌های مذکور نیز توسط نرم‌افزار SPSS 16 انجام شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی با استفاده از نرم‌افزارSTATISTICA به صورت نمودار بای‌پلات نمایش داده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی (تنش و بدون تنش) وجود داشت. بیشترین میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب متعلق به ژنوتیپ شماره ۸ (۵٤۷ گرم در مترمربع) و ژنوتیپ شماره ۱۹ (٦۵۳ گرم در مترمربع) بود. در حالی که کمترین عملکرد در شرایط بدون تنش، متعلق به ژنوتیپ شماره ۲۰ با ٤۸۵ گرم در مترمربع و در شرایط تنش، ژنوتیپ شماره ۲ با ٤۱۰ گرم در مترمربع بود (جدول ۳).

از آن جا که بالاترین میانگین عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و تنش متعلق به ژنوتیپ ثابتی نبود، محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر ضروری بود. هر چه شاخص‌های TOL و SSI کوچک‌تر باشد تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها بیشتر است؛ لذا بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ٦ و ۱۷ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل

انتخاب شدند(جدول ٤). فرناندز (۱۹۹۲) گزارش داد کـه انتخـاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقدار پایین شاخص TOL به نفع ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط غیر تنش و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بـالا در شرایط تنش است. لذا این شاخص، به تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب گروه A محسوب شود. انتخاب بـر اسـاس شاخص SSI نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود کـه پتانسـیل عملکرد پـایینی داشـته و از تحمـل بـه تـنش خـوبی برخوردارنـد (فرناندز، ۱۹۹۲)؛ بنابراین این شاخص نیز نمی‌تواند ژنوتیـپ‌هـایی که در هر دو محیط تنش و بـدون تـنش عملکـرد بـالایی دارنـد را تشخیص دهد. هر چه شـاخص‌هـای ATI و SSPI بیشـتر باشـد ژنوتیپ متحمل‌تر است. بر اساس ایـن دو شـاخص ژنوتیـپ‌هـای شماره ۱۹ و ۵ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند.

بر اساس شاخص GMP، HM، MP، STI، MSTI و DI ژنوتیپ‌هایی متحمل‌تر محسوب می‌شوند که مقادیر بیشتری از شاخص فوق را کسب کرده باشند. محاسبه این شاخص برای ژنوتیپ‌ها بیانگر تحمل بیشتر ژنوتیپ‌های ۸، ٤ و ۱۹ در شرایط تنش بود. این ژنوتیپ‌ها از نظر میانگین عملکرد در شرایط غیر تنش در گروه ژنوتیپ‌های پر محصول قرار داشتند. سپس به منظور حصول اطمینان از بقاء عملکرد در شرایط تنش از بین ژنوتیپ‌های انتخاب شده آن‌هایی که بیشترین میانگین عملکرد در شرایط تنش داشتند انتخاب شدند. بر این اساس از بین ژنوتیپ‌های منتخب در مرحله اول، ژنوتیپ‌های شماره ٤ و ۸ انتخاب شدند. با توجه به این که هر چه شاخص‌های YSI و RDI کوچک‌تر باشند، تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها بهتر است لذا بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۵، ۱۹ ، ۱۱ و ۱۲ انتخاب شدند. بر اساس شاخصSNPI ژنوتیپ‌های ٦، ۱٦ و ۱۷ به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. از آن جا که انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و یا عملکرد، به تنهایی مشکل بوده و گاهی نتایج متناقضی به دنبال دارد، به منظور تعیین بهترین شاخص‌ها، همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و غیر تنش محاسبه گردید (جدول ٤).

با توجه به توصیه‌های فرناندز (۱۹۹۲) و ریچاردز (۱۹۹٦) شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو محیط تنش و بدون تنش باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها قابل استفاده هستند. در این آزمایش، شاخص‌های MP، GMP،STI ، YI، DI، HM و MSTI با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش همبستگی بالا و معنی‌داری نشان دادند و به عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند. نتایج ذکر شده در مورد شاخص‌های GMP، MP و STI با نتایج گل‌آبادی و همکاران (۲۰۰٦)، زبرجدی و همکاران (۱۳۹۲) و عوض آبادیان و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. نتایج حاصل از شاخص‌های MP، GMP، STI ، YI، HM و MSTI با یافته‌های امیری و همکاران (۲۰۱٤) هماهنگی دارد. شاخص YSI نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط بدون تنش بود. بنابراین این شاخص ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و با عملکرد ضعیف در شرایط بدون تنش را انتخاب می‌کند. این مطالب با نتایج سی‌وسه‌مرده و همکاران (۲۰۰٦) مطابقت دارد.

شاخص SNPI با عملکرد در شرایط تنش و دو شاخص ATI و SSPI با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند؛ این نتیجه با یافته‌های موسوی و همکاران (۲۰۰۸) تطابق داشت؛ اگرچه همبستگی منفی بین SNPI و عملکرد در شرایط بدون تنش مشاهده شد. همچنین، دو شاخص ATI و SSPI با عملکرد در شرایط تنش همبستگی منفی داشتند که با نتایج موسوی و همکاران (۲۰۰۸) مغایر بود.

جدول ۳- شاخص‌های مقاومت به خشکی محاسبه شده، رتبه آن‌ها و مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش **(LSD) در شرایط** بدون تنش و تنش

Genotype no.	Yp	R	Ys	R	TOL	R	MP	R	GMP	R	STI	R	YI	R	YSI	R	SSI	R
1	535.05fghij	16	441.30ef	12	93.75bcdefg	11	488.18defg	14	485.91defg	14	0.94ef	14	1.13ef	11	0.82abcd	12	0.80bcde	12
2	525.91ghij	17	410.54f	20	115.37abcdef	13	468.23fgh	18	464.63fgh	18	0.86f	18	1.05f	20	0.78bcde	13	1.00abcd	13
3	524.62hij	18	445.08ef	10	79.54defg	7	484.85defgh	15	483.18defgh	15	0.93ef	15	1.14ef	10	0.85abc	7	0.69cde	9
4	626.83abc	3	532.72ef	2	94.11bcdefg	12	579.77ab	2	577.65a	2	1.32a	2	1.36a	2	0.85abc	8	0.68cde	8
5	579.61cdefg	7	425.72f	15	153.88a	19	502.67def	12	496.66def	12	0.98f	12	1.09f	15	0.73e	20	1.21a	20
6	553.21defghi	12	487.63cd	7	65.58fg	2	520.42cd	7	519.08cd	7	1.07cd	7	1.25cd	7	0.88a	2	0.52e	2
7	598.38bcde	5	518.73abc	4	79.65defg	8	558.55ab	5	557.09ab	5	1.23abc	5	1.32abc	4	0.87a	5	0.60e	5
8	636.86ab	2	547.03a	1	89.82cdefg	10	591.95a	1	590.15a	1	1.38a	1	1.40a	1	0.86ab	6	0.64de	6
9	539.95fghi	15	485.97cd	8	53.98g	1	512.96de	9	512.21de	9	1.04cd	9	1.24cd	8	0.90a	1	0.45e	1
10	561.81 defgh	11	475.77de	9	86.04 cdefg	9	518.79cde	8	516.70cd	8	1.06de	8	1.21de	9	0.85abc	9	0.69cde	10
11	569.59 defgh	10	430.67f	14	138.93abc	17	500.13def	13	494.86defg	13	0.97f	13	1.10f	14	0.76de	16	1.09ab	17
12	547.73defghi	13	417.64f	18	130.09abcd	16	482.69efgh	17	478.10 efgh	16	0.91f	16	1.07f	17	0.76de	17	1.07ab	16
13	546.23efghi	14	419.52f	17	126.71abcde	14	482.88efgh	16	478.10efgh	17	0.91f	17	1.07f	18	0.77cde	15	1.03abc	15
14	499.53ij	19	423.53f	16	76.00fg	6	461.53gh	19	459.89gh	19	0.84f	19	1.08f	16	0.85abc	10	0.69cde	11
15	579.41 cdefg	8	435.05f	13	144.37ab	18	507.23de	10	501.95de	11	1.00f	10	1.11f	13	0.75de	19	1.13ab	19
16	600.87abcd	4	527.22ab	3	73.65fg	5	564.05ab	4	562.78ab	4	1.26ab	4	1.35ab	3	0.88a	3	0.56e	4
17	584.83bcdef	6	516.16abc	5	68.67fg	3	550.49bc	6	549.32bc	6	1.20abc	6	1.32abc	5	0.88a	4	0.53e	3
18	570.58defgh	9	443.37ef	11	127.21abcde	15	506.98de	11	502.80de	10	1.13ef	11	1.13ef	12	0.78cde	14	1.01abc	14
19	653.30a	1	493.49bcd	6	159.81a	20	573.40ab	3	567.46ab	3	1.28bcd	3	1.26bcd	6	0.76de	18	1.10ab	18
20	485.33j	20	413.21f	19	72.11fg	4	449.27h	20	447.74h	20	0.80f	20	1.06f	19	0.85abc	11	0.67cde	7
LSD (5%)	54.008	-	53.016	-	53.016	-	36.882	-	36.069	-	0.0888	-	0.0888	-	0.0807	-	0.367	-

ادامه جدول ۳

Genotype no.	DI	R	HM	R	K1sti	R	K2STI	R	RDI	R	ATI	R	SSPI	R	SNPI	R
1	104255505.91efg	14	483.66defg	14	1.06fgh	16	1.19fgh	13	1.06abcd	12	412.47cdefg	10	9.33bcdefg	11	120881182.40 bcde	12
2	88695106.54fg	19	461.06gh	18	0.94fgh	18	0.94h	19	1.00bcd	13	485.63bcdefg	12	11.49abcdef	13	80694326.99e	19
3	103978123.71efg	15	481.53efgh	15	1.01fgh	17	1.20fgh	12	1.09abc	7	348.45efg	6	7.92defg	7	143619509.89 bcde	9
4	178141859.48ab	2	575.53ab	2	2.07abc	3	2.46ab	2	1.09abc	8	491.52bcdefg	13	9.37bcdefg	12	287127195.95abcde	5
5	105632970.10efg	13	490.73defg	12	1.32ef	9	1.17gh	15	0.94e	20	692.46ab	19	15.32a	19	78058408.61e	20
6	131857602.88cd	7	517.74cd	7	1.32ef	10	1.67cde	7	1.13a	2	312.00fg	3	6.53fg	2	460206236.70a	1
7	161578135.65b	4	555.63ab	5	1.76bcd	5	2.17b	4	1.11a	5	403.23cdefg	9	7.93defg	8	258099723.87abcde	7
8	190674822.12a	1	588.36a	1	2.23a	1	2.70a	1	1.10ab	6	480.37bcdefg	11	8.94cdefg	10	292985381.55abcd	4
9	128266271.32de	8	511.45de	9	1.22efg	13	1.62def	8	1.15a	1	252.23g	1	5.37g	1	286712567.65abcde	6
10	127660055.33de	9	514.63cde	8	1.34def	7	1.58efg	9	1.09abc	9	403.18cdefg	8	8.57cdefg	9	212263448.60bcde	8
11	106309576.79defg	12	489.65defg	13	1.28ef	12	1.19fgh	14	0.98de	16	628.83abcd	17	13.83abc	17	93238284.02cde	16
12	95597767.99fg	17	473.57fgh	16	1.08fgh	15	1.03h	17	0.98de	17	562.63bcdef	15	12.95abcd	16	82310620.19de	18
13	95869064.67fg	16	473.39fgh	17	1.09fgh	14	1.04h	16	0.99cde	15	553.31bcdef	14	12.62abcde	14	101639455.88 bcde	15
14	89833154.15fg	18	458.27gh	19	0.84gh	19	0.99h	18	1.09abc	10	318.63fg	4	7.57efg	6	126454715.36 bcde	11
15	110166490.08def	11	496.72def	11	1.34def	8	1.25efgh	11	0.96de	19	654.72abc	18	14.37ab	18	88532992.48de	17
16	167370411.49ab	3	561.51ab	4	1.80abc	4	2.29ab	3	1.13a	3	374.50defg	7	7.33fg	5	307874473.22ab	2
17	156718061.76bc	6	548.15bc	6	1.65cde	6	2.10bc	5	1.13a	4	344.23fg	5	6.84fg	3	302396758.04abc	3
18	112386804.06def	10	498.66def	10	1.30ef	11	1.29efgh	10	1.00cde	14	578.40abcde	16	12.67abcde	15	105525925.36 bcde	14
19	159084087.87b	5	561.61ab	3	2.18ab	2	2.03bcd	6	0.97de	18	823.00a	20	15.91a	20	134233299.24 bcde	10
20	82930927.52g	20	446.22h	20	0.75h	20	0.89h	20	1.09abc	11	294.14g	2	7.18gf	4	120208310.83 bcde	13
LSD (5%)	26000000	-	35.484	-	0.4332	-	0.4379	-	0.1035	-	258.5	-	5.2789	-	212000000	-

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند .شاخص ها بر اساس میانگین داده ها محاسبه شده اند.

Yp: Grain yield under non-stress conditions; Ys: Grain yield under stress condition; TOL: Tolerance index; MP: Mean productivity; GMP: Geometric mean productivity; STI: Stress tolerance index; YI: Yield index; YSI: Yield stability index; SSI: Stress susceptibility index; DI: Drought resistance index; HM: Harmonic mean; MSTI: Modified stress tolerance index; RDI: Relative drought index; ATI: Abiotic tolerance index;SSPI: Stress susceptibility percentage index ; SNPI:Stress non-stress production index.

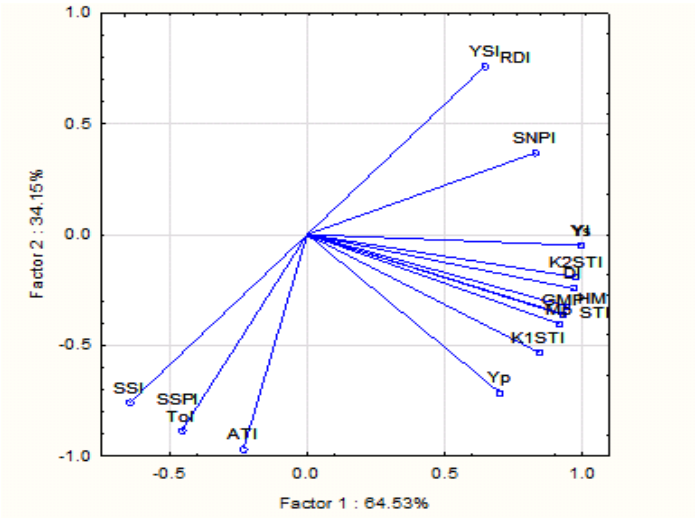
جدول ٤- ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش

	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	SSI	DI	HM	K1sti	K2STI	RDI	ATI	SSPI	SNPI
Yp	1																
Ys	.735**	1															
TOL	.314	-.413	1														
MP	.928**	.934**	-.061	1													
GMP	.912**	.948**	-.103	.999**	1												
STI	.908**	.950**	-.110	.998**	.999**	1											
YI	.732**	1.000**	-.417	.932**	.947**	.948**	1										
YSI	-.073	.621**	-.966**	.302	.342	.347	.623**	1									
SSI	.088	-.610**	.971**	-.288	-.328	-.333	-.613**	-.999**	1								
DI	.850**	.979**	-.228	.984**	.990**	.992**	.978**	.456*	-.442	1							
HM	.894**	.961**	-.144	.996**	.999**	.999**	.959**	.380	-.366	.994**	1						
K1sti	.967**	.865**	.087	.983**	.976**	.977**	.864**	.159	-.144	.947**	.967**	1					
K2STI	.818**	.986**	-.282	.970**	.979**	.982**	.986**	.502*	-.489*	.998**	.986**	.928**	1				
RDI	-.091	.607**	-.972**	.285	.325	.330	.610**	.999**	-.999**	.440	.363	.140	.486*	1			
ATI	.529*	-.185	.969**	.176	.135	.129	-.190	-.874**	.883**	.008	.094	.323	-.048	-.885**	1		
SSPI	.314	-.413	1.000**	-.062	-.104	-.110	-.417	-.966**	.971**	-.229	-.144	.087	-.282	-.972**	.969**	1	
SNPI	.324	.801**	-.686**	.609**	.635**	.631**	.805**	.798**	-.806**	.697**	.658**	.485*	.720**	.796**	-.534*	-.686**	1

*و**: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

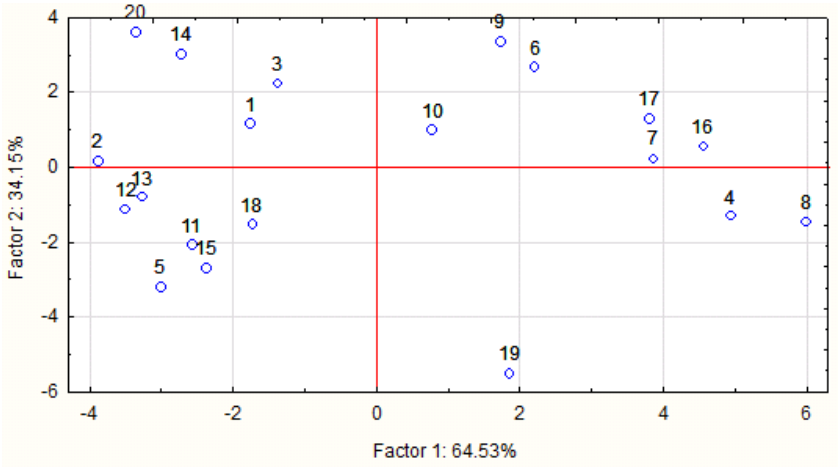
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی انجام شد و به دلیل بیشتر بودن مقدار واریانس توجیه شده توسط دو مولفهٔ اول (۹۸/٦۸)، ترسیم گرافیکی بای پلات بر اساس این دو مؤلفه انجام گرفت. در این بررسی مولفهٔ اول ٦٤/۵۳ درصد از کل تغییرات را توجیه کرد و ضرایب همبستگی بالا و مثبت برای شاخص‌های MP، GMP، STI، MSTI ، YI، YSI، DI، HM، RDI، SNPI و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش داشتند. اگر میزان مؤلفه اول بالا گرفته شود ژنوتیپ هایی انتخاب می شوند که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و تحمل بالایی به تنش خشکی هستند. از این رو این مؤلفه می‌تواند به عنوان مؤلفه پایداری عملکرد و تحمل به تنش خشکی نامیده شود. در پژوهش امیری و همکاران (۲۰۱٤) نیز مؤلفه اول همبستگی بالایی با شاخص‌های MP، GMP، STI، MSTI ، HM و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش داشت. در مطالعه چغاکبودی و همکاران (۱۳۹۰) همبستگی مثبت بالایی بین مؤلفه اول با شاخص‌هایMP، GMP، STI، YI ، HM و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش وجود داشت. دومین مؤلفه ۳٤/۱۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی منفی بالایی با شاخص‌های TOL ، SSI و SSPI و همبستگی مثبت با شاخص‌های YSI، RDI و SNPI دارد. این مؤلفه همبستگی منفی ضعیفی با عملکرد در شرایط تنش و MP ، GMP، STI، YI ، DI، HM و MSTI نشان داد. چنین همبستگی ضعیفی در پژوهش امیری و همکاران (۲۰۱٤) بین مؤلفه دوم و شاخص‌های مذکور گزارش شد. مؤلفه دوم را می‌توان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کرد که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش را، جدا می‌کند.

بر اساس بای پلات ترسیم شده بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ ها به گروه‌هایی تقسیم شدند که مرتبط با پایداری عملکرد و تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها بود . این شکل نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ٤، ٨، ٧، ١٦ و ١٧ در ناحیه‌ای با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی مانند STI و GMP ، MP قرار دارند. ژنوتیپ شماره ۱۹ به بردار مربوط به عملکرد در شرایط بدون تنش تمایل داشت و این نشان می‌دهد که مقادیر بالا برای شاخص‌های تحمل خشکی در این ژنوتیپ بیشتر به علّت عملکرد بالای آن در شرایط بدون تنش بوده است. ژنوتیپ شماره ۷ تمایل بیشتری به بردار مربوط به عملکرد دانه در شرایط تنش داشت، لذا ژنوتیپ مذکور علاوه بر تحمل به خشکی، عملکرد بالایی نیز در شرایط تنش داشته است. استفاده از نمودار سه‌بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها توسط فرناندز (۱۹۹۲) در لوبیا، سوری و همکاران در نخود (۲۰۰۵)، کاکایی و همکاران در کلزا گزارش شده است.



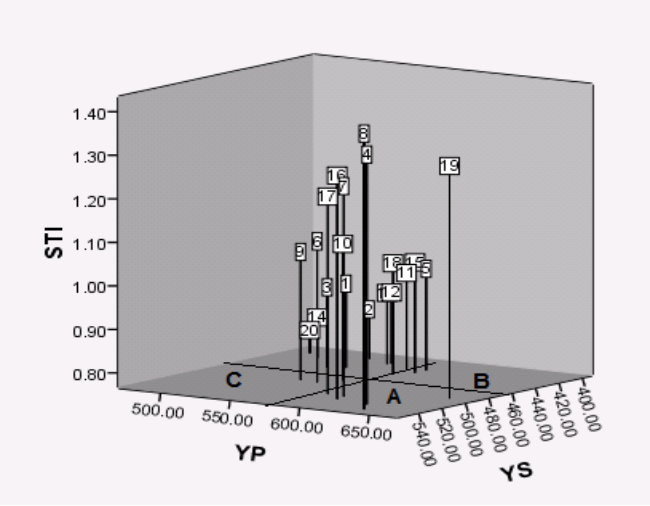
شکل ۱- نمایش شاخص‌های مقاومت به خشکی بر اساس دو مؤلفه اصلی در شرایط بدون تنش و تنش

ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۸ در ناحیه با عملکرد پایین حساسیت بالا به خشکی در مجاورت بردارهای SSI و TOL قرار گرفته اند. توجه به زوایای بین بردارهای شاخص‌ها ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP، GMP، STI، MSTI، YI ، DI و HM با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت بسیار بالایی دارند. همبستگی بالایی بین دو شاخص SSI و TOL نیز در نمودار بای پلات مشاهده می‌شود. این نتایج، با یافته‌های امیری و همکاران (۲۰۱٤)، زبرجدی و همکاران (۱۳۹۲) و چغاکبودی و همکاران (۱۳۹۰) هماهنگی دارد.



شکل ۲- نمایش شاخص‌های مقاومت به خشکی در بیست ژنوتیپ گندم نان بر اساس دو مؤلفه اول

با استفاده از شاخص‌هایی که همبستگی بالایی با عملکرد در هر دو شرایط داشتند، نمودار سه‌بعدی رسم شد. نتایج حاصل از نمودار سه‌بعدی شاخص‌ها با عملکرد در هر دو شرایط، مشابه با شاخص STI بود. نتایج نمودار بای پلات با نتایج حاصل از نمودار سه‌بعدی (شکل ۳) تطابق داشت. در شکل ۳، شاخص STI در برابر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داده شده است و بر اساس آن، ژنوتیپ‌های شماره ٤، ٨، ٧، ١٦، ١٧ و ١٩ با داشتن عملکرد بالا در هر دو محیط و شاخص STI بالا، در گروه A فرناندز قرار گرفتند. بر اساس یافته‌های این آزمایش، شاخص‌های MP، GMP، STI، MSTI، YI، DI، HM برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب هستند. این نتایج با یافته‌های امیری و همکاران (٢٠١٤) مطابقت دارد.

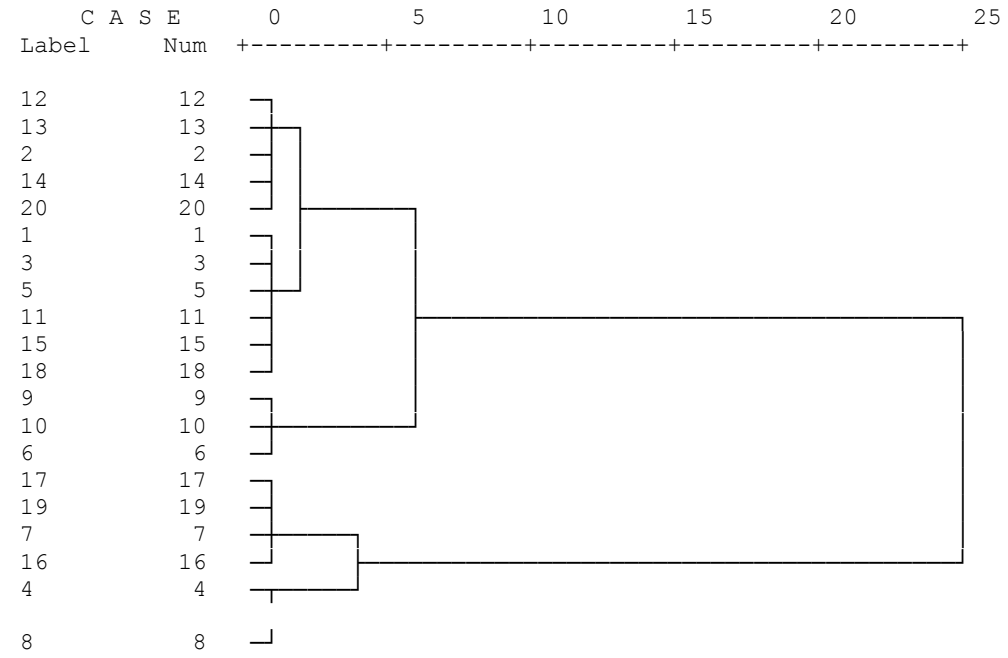


شکل ۳- گزینش ژنوتیپ‌های تحمل کننده تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI)

سپس از تجزیه خوشه‌ای جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌هایMP ، GMP، STI، MSTI، YI، DI و HM استفاده شد. در نمودار حاصل از این تجزیه ۵ گروه قابل‌تشخیص بود (شکل٤) و ژنوتیپ‌های شماره ١٢، ١٣، ٢، ١٤ و ٢٠ در گروه اول، ژنوتیپ‌های شماره ١، ٣، ٥، ١١، ١٥ و ١٨ در گروه دوم، ژنوتیپ‌های شماره ٩، ١٠ و ٦ در گروه سوم، ژنوتیپ‌های شماره ١٧، ١٩، ٧ و ١٦ در گروه چهارم و ژنوتیپ‌های شماره ٤ و ٨ در گروه پنجم قرار گرفتند. بیشترین مقدار شاخص‌هایی که بر مبنای آن تجزیه کلاستر انجام شده بود در ژنوتیپ‌های شماره ٤ و ٨ دیده

شد. ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۱۹، ۷ و ۱٦ از نظر میزان تحمل خشکی در رتبه دوم قرار گرفتند.

بر اساس نتایج این آزمایش، شاخص‌های MP، GMP، STI، MSTI، YI، DI و HM برای انتخاب ژنوتیپ های پرمحصول در هر دو محیط مناسب هستند. بر طبق یافته‌های این پژوهش، ژنوتیپ‌های ٤، ۸ ، ۱٦ و ۱۹ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و دارای عملکرد بالا در دو شرایط محیطی شناسایی شدند.



شکل ٤- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه ای ژنوتیپ‌های گندم نان بر اساس شاخص‌هایMP ، GMP، STI،MSTI ،YI ، DI، HM با استفاده از روش UPGMA

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این آزمایش، شاخص‌های MP، GMP، STI، MSTI، YI، DI و HM برای انتخاب ژنوتیپ های متحمل به خشکی مناسب هستند. بر طبق یافته‌های این پژوهش، ژنوتیپ‌های ٤، ۸ ، ۱٦ و ۱۹ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و دارای عملکرد بالا در دو شرایط محیطی شناسایی شدند.

منابع

جلال‌کمالی، م. ر. ۱۳۸۷. مروری بر وضعیت گندم در جهان گذشته، حال و آینده. مجموعه مقالات کلیدی دهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۲۳-٤٥.

چغاکبودی، ز.ع. زبرجدی و د. کهریزی. ۱۳۹۱. ارزیابی تحمل خشکی ژنوتیپ‌های کلزا(*Brassica napus* L.) در شرایط مزرعه و آزمایشگاه. مجله به نژادی و نهال بذر. جلد ۲۸، شماره۱: ۱۷-۳۸.

زبرجدی ، ع. ر. س. توکلی شادپی. ع. ر. اطمینان و ر. محمدی.۱۳۹۲. ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ های گندم دوروم با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی. مجله به‌نژادی نهال و بذر. جلد ۲۹، شماره ۱: ۱۲-۱.

سوری، ج. ح. دهقانی و س.ح. صباغ پور. ۱۳۸٤ .مطالعه ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش آبی مجله علوم کشاورزی ایران. دوره ۳٦، شماره ٦: ۱۵۲۷- ۱۵۱۷.

عوض آبادیان، ت. ج. م. سینکی . ن. حسنی.ع. ر. دشتبان و ز. زارعی. ۱۳۹۲. بررسی واکنش برخی ژنوتیپهای آفتابگردان به تنش خشکی با استفاده از شاخصهای تحمل به تنش. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. دوره ۵ ، شماره۱۲: ۲۳-۱۱.

کاکایی، م. ع. زبرجدی. ع. مصطفایی و ع. رضایی زاد. ۱۳۹۳. بررسی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات در برخی ژنوتیپ های کلزا با استفاده از روش های آماری چندمتغیره در دو شرایط رطوبتی. به نژادی گیاهان زراعی و باغی. دوره ۲، شماره ۱: ۳۱-٤٥.

گلستانی، م و ح. پاک‌نیت. ۱۳۸٦. ارزیابی شاخص‌های تحمل به حشکی در لاین‌های کنجد. مجلهٔ علوم و فنون کشاورزی. جلد ٤١، ١٤٩- ١٤١.

محمدی، ر.، ر. حق‌پرست.، م. آقایی‌سربرزه و ع. عبدالهی. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان تحمل خشکی ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم دوروم بر اساس معیارهای فیزیولوژیک و شاخص‌های وابسته. مجلهٔ علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۷، شمارهٔ ۳: ۵۷۵-۵٦۳.

نبی‌پور، ع. ر.، ب. یزدی صمدی.، ع. زالی و ک. پوستینی. ۱۳۸۰. بررسی اثر خشکی روی برخی صفات مورفولوژیکی و ارتباط این صفات با شاخص حساسیت به‌تنش در چند ژنوتیپ گندم. مجلهٔ بیابان. جلد ۷. شماره ۱: ٤٧-۳۱.

Abdi, H., E. Azizov, M. R. Bihamta, R. Chogan and K. Nemati Aghdam. 2012. Assessment and determination of the most suitable drought resistance index for figures and advanced lines of bread wheat. Int. J. Agric. Sci. 2(1): 78-87.

Amiri, R., S. Bahraminejad, Sh. Sasani and M. Ghobadi. 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. Bulg. J. Agric. Sci. 20: 101-111.

Bouslama, M. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Sci. 24: 933-937.

Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agron. Hung. 50:411–416.

Farshadfar, E., M. Farshadfar and F. Moradi. 2011. Screening agronomic, physiological and metabolite indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum Aestivum* L). Am. J. Sci. Res. 38: 88-96.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo. C, G. (Ed.). Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress, Publication, Taina, Taiwan

Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. Aust. J. Agric. Res. 29: 897- 912.

Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter ceraeals. Can. J. Plant Sci. 77: 523- 531.

Golabadi, M., A. Arzani and S. A. M. Mirmohamadi maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. African J. Agri. Res. 14redc: 162-171.

Haghparast, R., M. Moghaddam and M. Aghaee. 2003. Selection for drought tolerance in local varieties of bread wheat. Sustainable development and management of drylands in the twenty- first century. Proceeding of the 7th international conference on the development of drylands. 14-17 Sep. 2003, Tehran, Iran.

Jafari, A., F. Paknejad and M. Jami AL-Ahmaidi. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. Int. J. Plant Prod. 3: 33–38.

Khaled, A. G. A., M. H. Motawea and A. A. Said. 2015. Identification of ISSR and RAPD markers linked to yield traits in bread wheat under normal and drought conditions. J. Genetic Engineering Biotechnol. http://dx.doi.org/10.1016/j.jgeb.2015.05.001

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

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

Richards, R. A.,G. Z. Rebetzke, A. G. Condon and A. F. Herwaarden. 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Sci. 42: 111-121.

Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: 943-946.

Shamsi, K., S. Kobraee and B. Rasekhi. 2011. Variation of yield components and some morphological traits in bread wheat grown under drought stress. Ann. Biol. Res. 2(2): 372-377.

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

Evaluation of drought stress tolerance in some bread wheat genotypes using drought tolerance indices

A. Shibanirad[1], E. Farshadfar[2], A. Najafi[3]

Received:2015-10-18 Accepted:2015-12-24

Abstract

The aim of this study was to assessment of drought tolerance in genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). For this purpose twenty genotypes were evaluated using randomized completely block design with three replications in both stress and non-stress conditions during 2010-2011 growing season in the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah. Based on the potential (Yp) and stress (Ys) yields, fourteen quantitative criteria of drought tolerance including Stress Tolerance Index (STI), Tolerance Index (TOL), Stress Susceptibility index (SSI), Mean Productivity (MP), Geometric Mean Productivity (GMP), drought resistance index (DI), modified stress tolerance index (MSTI), Yield Index (YI), Yield Stability Index (YSI) and Harmonic Mean (HAM), stress non-stress production index(SNPI), abiotic tolerance index(ATI), stress susceptibility percentage index (SSPI) were calculated for each genotype. The result of combined analysis of variance showed there were significant differences between genotypes for grain yield in both conditions. Result of correlation analysis between grain yield in both conditions with drought resistance indices showed that STI, GMP, MP, MSTI, HM, DI, YI and MSTI were the best indices for identifying high yielding genotypes in both conditions. Furthermore, results exhibited that STI and MP were the best indices among all evaluated indices for tolerant genotype identification. Based on these indices and biplot analysis, genotypes No. 4, 8, 16 and 19 comparatively identified as drought tolerant genotypes. 3D graphs, Bi-plot and cluster analysis and principal component analysis (PCA) confirmed these results.

Keywords: Drought stress, principal component analysis, Bi-plot, Yield

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Razi University of Kermanshah, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Razi University of Kermanshah, Iran
3- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Razi University of Kermanshah, Iran