نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۵۴۲-۵۲۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 524-542

ارزیابی تحمل به تنش رطوبتی در برخی از ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص‌های انتخاب

ماندانا محسنی[۱]- سید محمد مهدی مرتضویان[۲*]- حسینعلی رامشینی[۳]- بهروز فوقی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۱۷

چکیده

عملکرد دانه گندم در اکثر مناطق ایران به علت بروز تنش رطوبتی آخر فصل کاهش می‌یابد. به‌منظور بررسی اثر تنش رطوبتی بر عملکرد دانه ۳۹ ژنوتیپ گندم بهاره، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ اجرا شد. اعمال تنش رطوبتی در مرحله ظهور سنبله به‌صورت کم‌آبیاری صورت گرفت. نتایج نشان داد در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های پیشتاز و آزادی (۸/۲۷ و ۷/۷۲ تن در هکتار) و در شرایط تنش رطوبتی ژنوتیپ‌های مغان۱ و سیستان (۵/۴۸ و ۴/۸۴ تن در هکتار) از بیشترین عملکرد دانه برخوردار بودند. براساس نتایج تجزیه رگرسیون در شرایط آبیاری معمولی و تنش رطوبتی سه متغیر وارد مدل شدند که در شرایط نرمال ۷۰/۸ و در شرایط تنش ۶۴/۰۳ درصد تغییرات عملکرد را توجیه نمودند. براساس میزان عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط، ۱۵ شاخص تحمل و حساسیت به تنش برآورد شد. نتایج تجزیه همبستگی، مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات نشان داد که از بین شاخص‌های محاسبه شده MP، GMP، STI، HARM، YI، DI، MSTI و SNPI برای انتخاب ژنوتیپ‌های با پتانسیل و پایداری عملکرد بالا در شرایط تنش رطوبتی جزو مناسب‌ترین شاخص‌ها بودند. تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه جداگانه قرار داد به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گروه مشترکی قرار گرفتند. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات، وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها را نسبت به تنش رطوبتی نشان داد. بر این اساس ژنوتیپ‌های مغان ۱، سیستان، اکبری، بیات، دز، بک‌کراس روشن بهاره، مهدوی و طبسی جزو متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های تجن، نوید، شیرودی، زاگرس، کرخه و ویری‌ناک به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی آخر فصل شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تحمل به خشکی، رگرسیون، شاخص‌های تحمل

مقدمه

در میان غلات، گندم مهمترین گیاه زراعی روی زمین است که نقش حیاتی در اقتصاد ملی کشورهای در حال توسعه دارد (۳ و ۹). مهمترین گونه زراعی گندم، گندم نان (*Triticum aestivum* L.) می‌باشد که به‌عنوان یکی از مهمترین محصولات زراعی از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان بوده و نقش مهمی را در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری داشته است (۳۵). گندم تأمین‌کننده ۲۱ درصد کالری و ۲۰ درصد پروتئین غذایی مورد نیاز بیش از ۴/۵ میلیارد نفر در ۹۴ کشور جهان است (۷). گیاهان همواره در معرض طیف وسیعی از تنش‌های غیر زیستی قرار دارند که این تنش‌ها اثرات نامطلوبی بر بقا، رشد، کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی دارند (۱۹). طبق گزارش فائو در سال ۲۰۱۰ میانگین عملکرد گندم نان در ایران ۲۱۳۶ و میانگین عملکرد جهانی آن ۳۰۰۹ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. ایران در کمربند بیابانی جهان قرار دارد و به‌عنوان منطقه‌ای خشک منظور می‌شود. متوسط بارندگی در کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان یک سوم بارندگی در جهان می‌باشد (۱۸). در میان انواع تنش‌های محیطی، تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید محصولات زراعی از قبیل گندم در مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد (۲) و به احتمال

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۲- استادیار اصلاح نباتات، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: mortazavian@ut.ac.ir)
۳- استادیار اصلاح نباتات، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
۴- مربی اصلاح نباتات، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

زیاد کاهش عملکرد به خاطر تنش خشکی از مجموع کاهش عملکرد به خاطر همه تنش‌های دیگر بیشتر است (۴). زمان ظهور تنش در طول دوره رشد گیاه بسیار مهم است به‌طوری‌که اثر زمان ظهور تنش آب بر عملکرد دانه ممکن است به اندازه شدت تنش اهمیت داشته باشد (۵). گیاه گندم هم در شرایط دیم و هم در شرایط آبی در مراحلی از چرخه زندگی خود تنش خشکی را تجربه می‌کند که البته این تنش در شرایط دیم شدیدتر است و به دلیل غیریکنواخت بودن بارندگی در دیم‌زارهای گندم کشور، همواره در اواخر فصل رشد این گیاه تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد (۳۲). در این مناطق، مرحله پرشدن دانه‌ها اغلب بر زمانی منطبق است که درجه حرارت محیط افزایش و ذخیره رطوبتی خاک کاهش می‌یابد. معمولاً بیماری‌های برگی نیز پس از مرحله گلدهی گسترش یافته و باعث تخریب و یا کاهش سطح سبز برگ در مرحله پرشدن دانه‌ها می‌شوند. نتیجه نهایی و عمومی این تنش‌ها، چروکیدگی دانه، کاهش وزن هزار دانه و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌باشد (۲۵). بنابراین معرفی ارقامی که بتوانند در هر دو شرایط آبیاری معمول و یا تنش خشکی آخر فصل محصول بیشتر و مطمئن‌تری تولید کنند بسیار مورد توجه قرار دارد (۲۳). برای بهبود عملکرد تحت شرایط تنش خشکی، توسعه ارقام جدید گندم با پتانسیل عملکرد دانه بالا از طریق شناسایی مکانیزم‌های تحمل به خشکی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۳۷). از شاخص‌های تحمل به تنش، که خشکی را براساس کاهش عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط مطلوب اندازه‌گیری می‌کنند، برای غربال ارقام متحمل به خشکی استفاده می‌شود (۲۲). فرناندز (۱۳) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط تنش و بدون تنش چهار نوع واکنش برای ژنوتیپ‌ها قائل شد: عملکرد بالاتر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه A)، عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط بدون تنش (گروه B)، عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط تنش (گروه C) و عملکرد پایین‌تر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه D). تاکنون برای تفکیک ژنوتیپ‌های قرار گرفته در هر یک از این گروه‌ها و شناسایی ارقام متحمل به تنش، شاخص‌های متعددی براساس روابط ریاضی بین شرایط تنش و غیرتنش ارائه شده است (۱۳)، ولی به‌طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط هستند و می‌توان از آنها برای تخمین پایداری عملکرد استفاده کرد (۳۰). رزایلی و هامبلین (۳۴) شاخص تحمل به تنش[1] (TOL) و نیز شاخص متوسط محصول‌دهی[2] (MP) را ارائه دادند. فیشر و مورر (۱۴) شاخص حساسیت به تنش[3] (SSI) ژنوتیپ‌ها را پیشنهاد کردند. این محققین نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با (SSI) کمتر از واحد، به خشکی مقاوم‌تر هستند. فرناندز (۱۳) شاخص تحمل به تنش[4] (STI) و میانگین هندسی محصول‌دهی[5] (GMP) را ارائه داد. میانگین هارمونیک[6] (HARM) از دیگر شاخص‌هایی است که برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده می‌شود. فیشر و همکاران (۱۵) شاخص نسبی خشکی[7] (RDI) را معرفی کردند. شاخص پایداری عملکرد[8] (YSI) توسط باسلاما (۶) ارائه شد. انتظار می‌رود ژنوتیپ‌هایی با YSI بالاتر عملکرد بالایی در شرایط تنش داشته باشند (۲۶). شاخص عملکرد[9] (YI) که توسط گاوزی و همکاران (۱۶) معرفی شد، ارقام را فقط براساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. لن (۲۰) شاخص جدید خشکی[10] (DI) را معرفی کرد. شاخص‌های DI و STI نه تنها توان ژنوتیپ‌ها برای تولید عملکرد بالا در شرایط تنش را در نظر می‌گیرند بلکه عملکرد مناسب در شرایط مطلوب را نیز ملاک قرار می‌دهند. فرشادفر و سوتکا (۱۱) شاخص STI را به شاخص تحمل به تنش تغییریافته[11] (MSTI) اصلاح کردند. بر این اساس آنها شاخص KiSTI را محاسبه کردند که در آن Ki ضریب تصحیح STI در شرایط رطوبتی می‌باشد. بنابراین K1STI و K2STI به‌ترتیب شاخص‌های انتخاب بهینه در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشند. موسوی و همکاران (۲۸) شاخص تحمل غیرزیستی[12] (ATI) و شاخص درصد حساسیت به تنش[13] (SSPI) را برای تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل و غیرمتحمل به تنش رطوبتی معرفی کردند. شاخص SNPI[14] می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک نماید و بر عملکرد بالا و پایدار در هر دو شرایط تأکید دارد (۲۸). فرشادفر و همکاران (۱۲) در آزمایش خود بر روی ۳۰ ژنوتیپ گندم نان، شاخص‌های GMP، MP، STI، YI، DRI، DI و MSTI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کردند.

این آزمایش با هدف تعیین اثر تنش رطوبتی آخر فصل بر عملکرد

1- Tolerance Index
2- Mean Productivity

3- Stress Susceptibility Index
4- Stress Tolerance Index
5- Geometric Mean Productivity
6- Harmonic Index
7- Relative Drought Index
8- Yield Stability Index
9- Yield Index
10- Drought Index
11- Modified Stress Tolerance Index
12- Abiotic Tolerance Index
13- Stress Susceptibility Percentage Index
14- Stress non-stress Production Index

تعدادی از ارقام رایج گندم، بررسی ارتباط بین بعضی صفات زراعی و عملکرد و نیز شناسایی ارقام متحمل به تنش برای یافتن منابع ژنتیکی تحمل به تنش جهت تشکیل جمعیت‌های در حال تفرق با استفاده شاخص‌های تحمل به تنش و نیز معرفی بهترین شاخص‌های تحمل به تنش صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش رطوبتی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش، آزمایشی بر روی ۳۹ رقم گندم بهاره (جدول ۱) در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تهران با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۲۷ متری از سطح دریا در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. از نظر اقلیم، این منطقه جزو مناطق خشک محسوب شده و بارندگی‌ها عمدتاً در دو فصل پاییز و زمستان صورت می‌گیرد. اطلاعات مربوط به میانگین دمای حداقل، حداکثر و میزان بارش منطقه مورد مطالعه در طول سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ نیز از ایستگاه سینوپتیک پاکدشت اخذ شد (شکل ۱). خاک زراعی مزرعه مورد استفاده دارای بافت لومی، pH معادل ۷/۳ و هدایت الکتریکی (EC) معادل ۲/۰۵ دسی زیمنس بر متر بود. ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دو آزمایش جداگانه هر کدام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو رژیم آبیاری (معمولی و تنش رطوبتی انتهایی) مورد مطالعه قرار گرفتند. کلیه تیمارها به‌طور تصادفی به واحدهای آزمایشی منتسب گردیدند. هر ژنوتیپ براساس تراکم ۲۶۸ بذر در متر مربع، به‌ترتیب بر روی دو پشته، که هر پشته شامل ۲ خط و هر خط به طول ۲ متر بود، کاشته شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به تعداد نسبتاً زیاد ژنوتیپ‌ها و جهت جلوگیری از افزایش طول بلوک، هر بلوک خود شامل دو بلوک ناقص گردید. کلیه عملیات زراعی کاشت، داشت و برداشت غیر از آبیاری، برای هر دو آزمایش یکسان و با روش به‌کار گرفته توسط کشاورزان منطقه و توصیه مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین و روش‌های علمی صورت گرفت. کاشت بذر به‌صورت دستی و عمق کاشت بذور ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری مزرعه آزمایشی در هر دو محیط تنش و بدون تنش تا مرحله ظهور سنبله به‌طور یکسان، طبق عرف محلی و به‌طور مرتب به روش جوی و پشته انجام شد. خاک پس از آبیاری در وضعیت ظرفیت زراعی قرار داشت. لازم به ذکر است منطقه پاکدشت دارای الگوی تنش رطوبتی آخر فصل می‌باشد. بر این اساس، پس از ظهور سنبله‌ها و شروع زمان اعمال تنش، براساس آزمون اولیه خاک با توجه به نمونه‌گیری یک روز در میان، زمانی‌که درصد رطوبت در سایت تنش به حدود ۰/۱۴ (نقطه پژمردگی گندم) رسید آبیاری مجدد انجام گرفت (۵). به‌طور میانگین در شرایط آبیاری معمولی هر ۷ روز یک بار و در شرایط تنش رطوبتی هر ۲۰ روز یک بار آبیاری شد. با توجه به رطوبت موجود در خاک و براساس ظرفیت زراعی در هر بار آبیاری ۱۰۰-۵۰ میلی‌متر آب به هر کرت اضافه شد. در محل اجرای آزمایش بعد از تیمار تنش رطوبتی، بارندگی مؤثر رخ نداد (شکل ۱). در طی اعمال تنش، علایم لوله‌ای شدن و پژمردگی برگ‌ها مشهود بود. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش 2,4-D به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار ماده تجاری در مرحله پنجه‌زنی استفاده شد، همچنین وجین دستی در بهار طی دو مرحله انجام گرفت. برای مبارزه با سن گندم از سم دسیس به میزان ۰/۳ لیتر در هکتار ماده تجاری استفاده شد. برداشت نهایی در زمان رسیدگی کامل، پس از حذف حاشیه صورت گرفته و محصول هریک از کرت‌های تحت تیمارهای بدون تنش و تنش رطوبتی به‌طور جداگانه برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح و نیز عملکرد کاه، به عملکرد دانه در واحد هکتار تبدیل شد. پس از بررسی هم‌راستایی بر روی عملکرد و سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده، صفات مزاحم از ادامه محاسبات حذف (انتخاب براساس شاخص‌های تحمل[1] و عامل تورم واریانس[2] صورت گرفت) و پس از آن رگرسیون گام به گام بر روی سایر صفات انجام شد. همچنین با کمک شاخص‌های مقاومت به تنش، ارزیابی واکنش ارقام به تنش خشکی صورت گرفت که این شاخص‌ها عبارت بودند از:

$$SSI = \frac{1-\left(\frac{Ys}{Yp}\right)}{1-\left(\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right)} \quad (۱)$$

$$TOL = Yp - Ys \quad (۲)$$

$$MP = \frac{Ys+Yp}{2} \quad (۳)$$

$$STI = \frac{Ys \times Yp}{\bar{Y}p^2} \quad (۴)$$

$$HARM = \frac{2(Yp)(Ys)}{Yp+Ys} \quad (۵)$$

$$RDI = \frac{\left(\frac{Ys}{Yp}\right)}{\left(\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right)} \quad (۶)$$

$$GMP = \sqrt{(Yp)(Ys)} \quad (۷)$$

$$YI = \frac{Ys}{\bar{Y}s} \quad (۸)$$

$$YSI = \frac{Ys}{Yp} \quad (۹)$$

$$DI = \frac{Ys \times \left(\frac{Ys}{Yp}\right)}{\bar{Y}s} \quad (۱۰)$$

$$ATI = \left[(Yp - Ys)/\left(\frac{\bar{Y}p}{\bar{Y}s}\right)\right] \times \left[\sqrt{Yp \times Ys}\right] \quad (۱۱)$$

1- Tolerance
2- VIF

جدول ۱- اسامی ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی در مطالعه تحمل به تنش رطوبتی آخر فصل

Table 1- Name of evaluated wheat genotypes under late season drought stress

ژنوتیپ Genotype	شماره Number	ژنوتیپ Genotype	شماره Number	ژنوتیپ Genotype	شماره Number	ژنوتیپ Genotype	شماره Number
آزادی Azadi	31	مغان۳ Moghan3	21	شیراز Shiraz	11	اترک Atrak	1
ویری‌ناک Vireenak	32	چمران Chamran	22	کویر Kavir	12	هیرمند Hirmand	2
کرخه Karkhe	33	مارون Maroon	23	شیرودی Shiroodi	13	دز Dez	3
کراس‌البرز Cross Alborz	34	مغان۲ Moghan2	24	کوهدشت Koohdasht	14	پیشتاز Pishtaz	4
استار Estar	35	تجن Tajan	25	ناز Naz	15	مرودشت Marvdasht	5
سیستان Sistan	36	شعله Shole	26	زاگرس Zagros	16	اکبری Akbari	6
بک کراس روشن بهاره S.B. Roshan	37	بهار Bahar	27	نوید Navid	17	طبسی Tabasi	7
هامون Hamoon	38	مهدوی Mahdavi	28	مغان۱ Moghan1	18	آرتا Arta	8
البرز Alborz	39	بیات Baiat	29	نیک‌نژاد Niknejhad	19	رسول Rasool	9
		اروند موتانت M.Arvand	30	داراب۲ Darab2	20	سپاهان Sepahan	10

$$SSPI = \left[Yp - \frac{Ys}{2(\overline{Yp})}\right] \times 100 \quad (۱۲)$$

(۱۳)

$$SNPI = \left[\sqrt[3]{(Yp + Ys)/(Yp - Ys)}\right]\left[\sqrt[3]{Yp \times Ys \times Ys}\right]$$

$$MSTI = Ki\ STI \quad (۱۴)$$

$$K1 = Yp^2/\overline{Yp}^2 \quad (۱۵)$$

$$K2 = Ys^2/\overline{Ys}^2 \quad (۱۶)$$

در روابط فوق Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط عدم تنش، $\overline{Ys}$ میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش و $\overline{Yp}$ میانگین عملکرد ارقام در شرایط عدم تنش می‌باشد. پس از محاسبه شاخص‌های فوق همبستگی بین مقادیر این شاخص‌ها با یکدیگر و عملکرد دانه در شرایط با و بدون تنش خشکی محاسبه شد تا بهترین شاخص‌ها برای شناسایی و انتخاب ارقام متحمل به تنش رطوبتی مشخص شوند. در مرحله بعدی برای مشخص شدن تغییرات داده‌های شاخص‌های مقاومت به تنش، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[1] (PCA) با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی استفاده شد و در آخر نمودار بای‌پلات براساس دو مؤلفه اصلی ترسیم شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها، محاسبه رگرسیون گام به گام، همبستگی بین شاخص‌ها و تجزیه به مؤلفه اصلی با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری SAS (Ver. 9.1) و برای ترسیم نمودار بای‌پلات از نرم‌افزار کامپیوتری Minitab (Ver 18) استفاده شد.

1- Principal Components Analysis

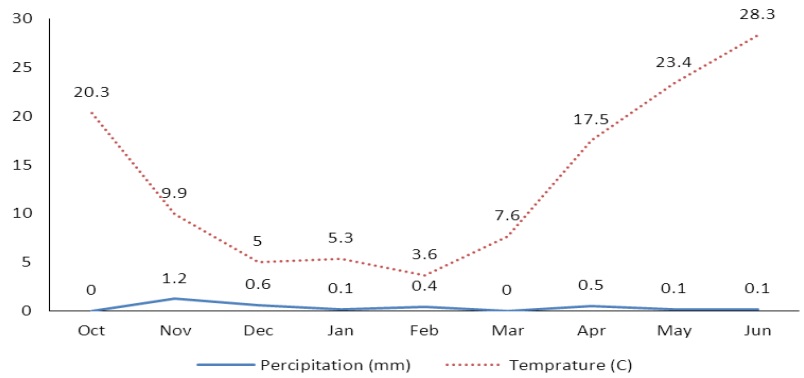
نتایج و بحث

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام در شرایط معمولی و تنش رطوبتی

به‌منظور حذف اثر صفات غیر مؤثر یا کم تأثیر در مدل رگرسیونی بر روی صفت عملکرد دانه، از رگرسیون گام به گام استفاده شد. با توجه به نتیجه هم‌راستایی صفات وزن سنبله اصلی، عملکرد بیولوژیک و تعداد کل پنجه در متر مربع از ادامه محاسبات حذف شدند. لازم به ذکر است در این قسمت از آزمایش با توجه به این‌که شاخص برداشت خود از دو صفت دیگر حاصل شده است، از آن به‌عنوان متغیر مستقل استفاده نگردید. نتایج تجزیه رگرسیون با در نظر گرفتن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در شرایط معمولی، به‌ترتیب ۳ متغیر تعداد سنبله بارور در متر مربع، وزن هزار دانه و طول سنبله با ضریب مثبت وارد مدل شده و مجموعاً بیش از ۷۰ درصد تغییرات موجود بین عملکرد ژنوتیپ‌ها را در شرایط مطلوب تبیین نمودند (جدول ۲). صفت تعداد سنبله بارور به دلیل داشتن حداکثر ضریب تبیین (۶۲/۴٪) به‌عنوان مهمترین صفت مؤثر بر

عملکرد دانه در شرایط معمولی شناخته شد، بنابراین تقویت این صفت در شرایط معمولی برای افزایش عملکرد تا حد زیادی معقول می‌باشد (جدول ۲).

از میان صفات مورد مطالعه در شرایط تنش، تعداد سنبله بارور مانند شرایط نرمال نخستین متغیر وارد شده به مدل بود که تنها ۳۶/۲٪ از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کند (جدول ۳). چودری و همکاران (۸) بیان داشتند که صفاتی نظیر تعداد سنبله و وزن هزار دانه از اجزای مهم و اصلی وابسته به عملکرد در گندم می‌باشند که می‌توانند منجر به افزایش عملکرد دانه شوند. پس از آن به‌ترتیب صفات وزن دانه در سنبله اصلی و عملکرد کاه در هکتار وارد مدل شدند.



شکل ۱- میانگین روزانه دما و بارندگی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران

Figure 1- Average daily temperature and precipitation in 2010-2011 in research station of college of Aburaihan-University of Tehran

جدول ۲- برازش بهترین مدل رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام با درنظر گرفتن عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته و سایر صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغیرهای مستقل در ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط مطلوب

Table 2- Fitness of the best multivariate regression model using stepwise regression in terms of grain yield as dependent character and other evaluated traits as independent characters in wheat genotypes in normal irrigated condition

	گام اول First step		گام دوم Second step		گام سوم Third step	
	رگرسیون Regression	خطا Error	رگرسیون Regression	خطا Error	رگرسیون Regression	خطا Error
درجه آزادی df	1	37	2	36	3	35
صفت وارد شده Imported trait	سنبله بارور در متر مربع Fertile spike in m^{-2}		وزن هزار دانه One thousand seed weight		طول سنبله Spike length	
میانگین مربعات Mean of square	30.95	0.50	16.90	0.43	11.70	0.41
F value	61.5**		38.5**		28.3**	
Cumulative R^2	0.624		0.681		0.708	
Reg. coefficient	0.007		0.053		0.237	
Standard error	0.00		0.019		0.133	
tolerance	0.98		0.99		0.97	
VIF	1.01		1		1.02	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ عرض از مبدأ: ۲/۸۴-

** significant in 0.01 probability, * significant in 0.05 probability intercept: -2.84

جدول ۳- برازش بهترین مدل رگرسیون چندمتغیره به روش گام به گام با درنظر گرفتن عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته و سایر صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغیرهای مستقل در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش رطوبتی

Table 3- Fitness of the best multivariate regression model using stepwise regression in terms of grain yield as dependent character and other evaluated traits as independent characters in wheat genotypes in normal irrigated condition

	گام اول First step		گام دوم Second step		گام سوم Third step	
	رگرسیون Regression	خطا Error		خطا Error	رگرسیون Regression	خطا Error
درجه آزادی df	1	37	درجه آزادی df	36	3	35
صفت وارد شده Imported trait	سنبله بارور در متر مربع Fertile spike in m^{-2}		وزن دانه در سنبله Seed weight in spike		عملکرد کاه در هکتار Straw yield in ha	
میانگین مربعات Mean of square	10.06	0.503	8.92	0.316	6.23	0.30
F value	21.06**		28.24**		20.77**	
Cumulative R^2	0.362		0.610		0.640	
Reg. coefficient	0.003		1.76		0.172	
Standard error	0.001		0.379		0.101	
tolerance	0.57		0.96		0.57	
VIF	1.72		1.04		1.73	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ عرض از مبدأ: ۲/۰۱-

** significant in 0.01 probability, * significant in 0.05 probability intercept: -2.01

در مجموع، ۳ متغیر وارد شده در مدل بیش از ۶۴ درصد تغییرات موجود بین عملکرد ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش رطوبتی تبیین نمودند. لذا این صفات می‌توانند به‌عنوان صفات اصلی تعیین‌کننده عملکرد دانه در واحد سطح در شرایط تنش مورد توجه قرار گیرند. اسکندری و کاظمی (۱۰) صفات مورفولوژیک از قبیل تعداد سنبله، وزن دانه در سنبله و وزن هزار دانه را صفات مؤثر در بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی معرفی کردند.

مقایسه ژنوتیپ‌ها از نظر مقادیر شاخص‌های مقاومت به تنش برای عملکرد دانه

به‌منظور شناسایی ارقام متحمل به خشکی، شاخص‌های مختلف مربوط به تنش خشکی براساس عملکرد ارقام در شرایط تنش رطوبتی (Ys) و آبیاری معمولی (Yp) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی توسط یک شاخص واحد، اطلاعات ضد و نقیضی به‌دست می‌دهد (جدول ۷). نتایج این پژوهش نشان داد که در محیط آبیاری مطلوب بیشترین عملکرد دانه در هکتار به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های پیشتاز، آزادی، ناز، شیرودی، شعله و طبسی بود و ژنوتیپ‌های زاگرس، کوهدشت و آرتا کمترین عملکرد دانه را در شرایط نرمال به‌خود اختصاص دادند. در شرایط تنش رطوبتی ژنوتیپ‌های مغان ۱، سیستان و طبسی بیشترین پتانسیل عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های زاگرس، نوید و کوهدشت به‌ترتیب کمترین عملکرد دانه در هکتار را داشتند (جدول ۷). بالا یا پایین بودن پتانسیل عملکرد در این ژنوتیپ‌ها را می‌توان با متغیر بودن اجزاء عملکرد در آنها و هم‌چنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست.

هرچه مقدار عددی شاخص SSI کوچکتر باشد، حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی ژنوتیپ به تنش رطوبتی بیشتر است، به‌عبارتی هرقدر عملکرد در شرایط تنش خشکی نزدیکتر به عملکرد پتانسیل (بدون تنش) باشد، به همان اندازه حساسیت آن ژنوتیپ به خشکی کمتر خواهد بود (۱۱). در این پژوهش با توجه به شاخص SSI، ژنوتیپ‌های سیستان، مغان۱، اکبری و بک کراس روشن بهاره دارای کم‌ترین مقدار برای این شاخص و ژنوتیپ‌های تجن، نوید، زاگرس، شیرودی و ناز دارای حساسیت به تنش بالایی بودند. براساس شاخص تحمل TOL نیز در واقع تحمل بیشتر مربوط به ژنوتیپی است که از شاخص کوچک‌تری برخوردار باشد. همچنین هرچه مقدار شاخص SSPI بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ژنوتیپ به خشکی می‌باشد (۱۲) که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌های سیستان، مغان ۱، هامون، بک کراس روشن بهاره و نیک‌نژاد براساس این دو شاخص مقاوم‌ترین و ژنوتیپ‌های تجن، ناز و شیرودی حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. به اعتقاد برخی از محققان (۱۲ و ۲۵) یک ژنوتیپ با عملکرد مناسب تحت شرایط مطلوب، باید در شرایط کم‌تر مساعد نیز عملکرد خوبی تولید کند تا بتواند به‌عنوان یک ژنوتیپ مناسب برای شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شود. در واقع پایین بودن این شاخص‌ها لزوماً بر بالا بودن عملکرد در شرایط مناسب یا تنش دلالت ندارد (۱۲)، زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که

دارای حساسیت بسیار پایینی نسبت به تنش خشکی می‌باشند، اما پتانسیل عملکرد پایینی نیز دارند (۲۸). برای مثال با نگاهی به مقادیر شاخص‌ها (جدول ۷) مشخص می‌شود که ژنوتیپ‌های هامون و نیک‌نژاد که توسط این سه شاخص متحمل شناخته شده‌اند، نه به‌دلیل تولید عملکرد مناسب در شرایط تنش، بلکه صرفاً به علت پایین بودن درصد تغییرات عملکرد، توسط این شاخص‌ها به‌عنوان ارقام متحمل به تنش انتخاب شدند و از آنجایی‌که پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور مقاومت به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژی دارد تا زراعی، می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب براساس شاخص حساسیت به تنش (SSI)، درصد حساسیت به تنش (SSPI) و تحمل به تنش (TOL) باعث گزینش ارقامی با عملکرد به نسبت پایین در محیط دارای تنش می‌گردد، که چنین ارقامی مطابق با گزارش مقدم و هادی‌زاده (۲۴) به علت عملکرد پایین، از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند.

هرچه مقدار عددی شاخص‌های STI و GMP بالاتر باشد حاکی از تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد بیشتر آن ژنوتیپ در هر دو شرایط می‌باشد. در این پژوهش و براساس شاخص‌های فوق ژنوتیپ‌های پیشتاز، مغان ۱، طبسی و آزادی متحمل و ژنوتیپ‌های زاگرس، کوهدشت، آرتا و نوید حساس بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده ژنوتیپ‌های انتخابی براساس شاخص‌های MP و Harm نیز به علت همبستگی بسیار بالا با شاخص‌های فوق، تقریباً یکسان بودند. مجیدی و همکاران (۲۱) گزارش کردند که شاخص‌های GMP، STI و Harm توانایی مشابهی در تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی گلرنگ در هر دو محیط دارند. براساس شاخص‌های پایداری عملکرد (YSI) و تحمل نسبی به خشکی (RDI)، ژنوتیپ‌های سیستان، مغان ۱، اکبری و بک کراس روشن بهاره با مقادیر بالاتر برای این شاخص‌ها متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های تجن، نوید، زاگرس و شیرودی حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش شناخته شدند. مقادیر بالاتر برای شاخص‌های YI، DI و SNPI حاکی از مقاومت بیشتر ژنوتیپ به تنش خشکی می‌باشد. براساس این سه شاخص به‌ترتیب ژنوتیپ‌های مغان ۱، سیستان، طبسی و اکبری متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های زاگرس و نوید حداقل تحمل به تنش را از خود نشان دادند. شاخص ATI ژنوتیپ‌های پیشتاز، ناز و آزادی را متحمل‌ترین و ژنوتیپ کوهدشت را غیرمتحمل‌ترین معرفی می‌کند. براساس شاخص K1STI ژنوتیپ‌های پیشتاز، آزادی، طبسی و مغان۱ و براساس شاخص K2STI ژنوتیپ‌های مغان ۱، طبسی و پیشتاز متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند. فرشادفر و همکاران (۱۲) عنوان کردند شاخص‌های K1STI و K2STI ازجمله شاخص‌های مناسب برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم می‌باشند.

انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها براساس تجزیه همبستگی و مؤلفه‌های اصلی

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها به‌کار رود. به‌طورکلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند (۲۹). نتایج همبستگی میان عملکرد در هر دو محیط و شاخص‌های محاسبه شده در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین جهت آگاهی از اینکه آیا شاخص‌های تعیین شده به‌خوبی قادر به تفکیک ارقام گروه A از ارقام گروه D هستند، نیاز به بررسی نمودارهای دو بعدی و سه بعدی می‌باشد. لذا از تجزیه مؤلفه‌های اصلی جهت تبیین بیشتر روابط بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های مورد بررسی استفاده گردید. همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد بین شاخص‌های SSI، TOL و SSPI نشان می‌دهد که این سه شاخص قدرت نسبتاً یکسانی در گروه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها دارند. با توجه به اینکه همبستگی عملکرد در شرایط تنش خشکی با شاخص TOL و SSPI غیر معنی‌دار و با شاخص SSI منفی و معنی‌دار می‌باشد و مقادیر کمتر این شاخص‌ها نشان‌دهنده تحمل بیشتر به شرایط تنش خشکی می‌باشد وجود همبستگی مثبت و بالا بین آنها قابل توجیه است (جدول ۴). همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود بیشترین همبستگی رتبه‌ای مثبت (**۱) میان شاخص‌های (YI و Ys)، (TOLو SSPI) و (YSIو RDI) وجود داشت. بیشترین همبستگی رتبه‌ای منفی (**۱-) میان شاخص حساسیت به تنش (SSI) با شاخص‌های RDI و YSI مشاهده شد (جدول ۴).

همبستگی بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش نیز مثبت و در سطح یک درصد معنی‌دار بود که نشان می‌دهد در این تحقیق اکثر ژنوتیپ‌هایی که در شرایط مطلوب پتانسیل عملکرد بالاتری داشتند در شرایط محدودیت رطوبتی نیز از عملکرد بالایی برخوردار بودند، این نتیجه موافق نظر گل آبادی و همکاران (۱۷) و فرشادفر و همکاران (۱۲) می‌باشد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز در جدول ۵ نشان داده شده است. به‌طور کلی دو مؤلفه اول که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک را داشتند، انتخاب شدند. این دو مؤلفه بیش از ۹۸ درصد از اطلاعات کل را شامل می‌شوند. مؤلفه اول ۶۳ درصد تغییرات کل را توجیه کرد. این مؤلفه دارای ضریب منفی و معنی‌دار برای شاخص SSI، ضرایب غیرمعنی‌دار برای شاخص‌های TOL، SSPI و ATI و ضرایب مثبت و معنی‌دار برای سایر شاخص‌ها و نیز عملکرد در شرایط معمولی و تنش می‌باشد (جدول ۵).

جدول ٤- ضرایب همبستگی اسپیرمن بین رتبه ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در شرایط آبیاری (بدون تنش) و تنش رطوبتی

Table 4- Spearman correlation coefficients among genotype ranks in terms of drought tolerance indices and seed yield in irrigated (normal) and water stress conditions

	SNPI	K2STI	K1STI	ATI	SSPI	DI	YSI	YI	RDI	HARM	STI	GMP	MP	TOL	SSI	Ys
Yp	0.52**	0.75**	0.95**	0.88**	0.61**	0.32*	ns	0.61**	ns	0.78**	0.85**	0.85**	0.92**	0.61**	ns	0.61**
Ys	0.98**	0.97**	0.79**	ns	ns	0.92**	0.65**	1**	0.65**	0.96**	0.92**	0.92**	0.84**	ns	-0.65**	1
SSI	-0.74**	-0.51**	ns	0.45**	0.81**	-0.86**	-1**	-0.65**	-1**	-0.47**	-0.36*	-0.36*	ns	0.81**	1	
TOL	ns	ns	0.38*	0.87**	1**	-0.47**	-0.81**	ns	-0.81**	ns	ns	ns	ns	1		
MP	0.78**	0.93**	0.99**	0.66**	ns	0.63**	ns	0.84**	ns	0.94**	0.98**	0.98**	1			
GMP	0.87**	0.97**	0.96**	0.56**	ns	0.74**	0.36*	0.92**	0.36*	0.98**	1**	1				
STI	0.87**	0.97**	0.96**	0.56**	ns	0.74**	0.36*	0.92**	0.36*	0.98**	1					
HARM	0.92**	0.99**	0.91**	0.47**	ns	0.82**	0.47**	0.96**	0.47**	1						
RDI	0.74**	0.51**	ns	-0.45**	-0.81**	0.87**	1**	0.65**	1							
YI	0.98**	0.97**	0.79**	ns	ns	0.92**	0.65**	1								
YSI	0.74**	0.51**	ns	-0.45**	-0.81**	0.87**	1									
DI	0.96**	0.84**	0.54**	ns	-0.47**	1										
SSPI	ns	ns	0.38*	0.87**	1											
ATI	ns	0.43**	0.73**	1												
K1STI	0.72**	0.89**	1													
K2STI	0.94**	1														

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ *معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ns غیر معنی‌دار

** significant in 0.01 probability, * significant in 0.05 probability ns non-significant

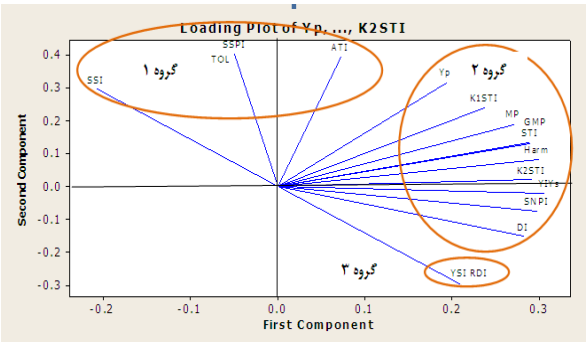
درنتیجه می‌توان مؤلفه اول را به نـام مؤلفـه پتانسـیل عملکـرد و تحمل به تنش نامگذاری کرد که قادر به جداسازی ژنوتیـپ‌هـایی بـا عملکرد بالا در دو شرایط است. نتـایج همبسـتگی‌هـا نیـز (جـدول ۵) نشان‌دهنده وجود رابطه قوی مثبت و معنی‌دار میان عملکـرد دانـه در هر دو محیط با شاخص‌های MP، GMP، STI، Harm، YI، DI، MSTI و SNPI می‌باشد. مؤلفه دوم نیز بـا توجیـه ۳۵/۳ درصـد از تغییرات کـل در مـاتریس داده‌هـا، بیشـترین همبسـتگی مثبـت را بـا عملکرد در شرایط مطلوب و نیز شاخص‌هـای SSI، TOL، SSPI و ATI داشت. از این رو مؤلفه دوم به نـام مؤلفـه حساسـیت بـه تـنش نامگذاری شد که با برخی از نتایج منجم و همکاران (۲۷) و فرشادفر و همکاران (۱۲) مطابقت دارد.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد کـه سـهم تجمعـی دو مؤلفه اول ۹۸/۲ درصد می‌باشد. حال با توجه به مستقل بـودن مؤلفـه اول و دوم از هم می‌توان آنها را عمود بر هم رسم کرد و مقایسه وزنی هرکدام از متغیرها در مؤلفه اصلی را به‌صورت ضـرایب همبسـتگی در روی نمودار نشان داد (شکل ۲ و ۳). لذا با حذف سـایر مؤلفـه‌هـا کـه سهم چندانی در تغییرات کل ندارند، توجیه تغییرات از طریق دو مؤلفه اول و دوم انجام گرفت. روابط میان شاخص‌های مختلـف بـه‌صـورت گرافیکی در نمودار دو بعدی مؤلفـه اول و دوم (شـکل ۲) نشـان داده شده است.

زاویه بین بردار شاخص‌ها در نمـودار دو بعـدی تصـویر کـاملی از روابط بین شاخص‌های تحمل به خشکی را نشان می‌دهد و تا حدودی نشان‌دهنده همبستگی میان آنها می‌باشد (۳۹). بـر ایـن اسـاس و بـا توجه به شکل ۲ شاخص‌های SSI، TOL، SSPI و ATI در گـروه اول قرار گرفتند و بیشترین همبستگی را با مؤلفه دوم داشـتند (زاویـه میان مؤلفه دوم و شاخص‌های فوق کمتر از ۹۰ درجه می‌باشد) (شکل ۲). ماهیت این شاخص‌ها به گونـه‌ای مـی‌باشـد کـه بیشـتر بـر روی مکانیزم حفظ محصول در شرایط تنش تکیه می‌کننـد در نتیجـه ایـن شاخص‌ها با عملکرد در شرایط نرمال (YP) همبستگی بیشتری دارند. شاخص‌های فوق همبستگی بالا و معنی‌داری با یکـدیگر داشـتند امـا شاخص ATI نسبت به شـاخص‌هـای SSPI، TOL و SSI تأکیـد بیشتری بر روی عملکرد در شرایط نرمال داشـت (شـکل ۲) کـه ایـن نتایج با یافته‌های فرشـادفر و همکـاران (۱۲) و موسـوی و همکـاران (۲۸) در یک راستا می‌باشد. محور مؤلفه شـاخص‌هـای Yp، GMP، STI، HARM، MP، YI، DI، K1STI، K2STI، SNPI و Ys در گروه دوم قرار دارند و همگی با مؤلفه اول همبسـتگی مثبـت بالایی داشتند (زاویه میان مولفه اول و شاخص‌های فوق کمتـر از ۹۰ درجه می‌باشد). شاخص‌هـای RDI و YSI بـا همبسـتگی منفـی بـا مؤلفه دوم در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۲).

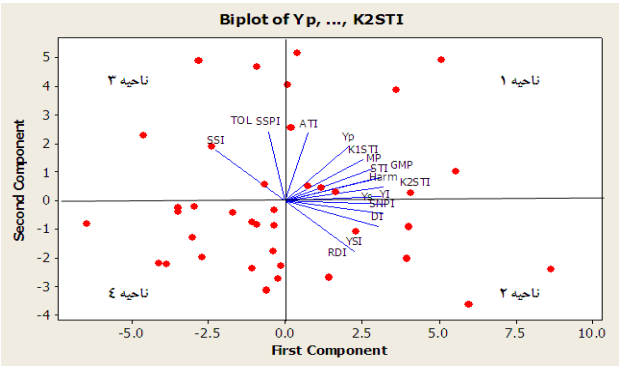
جدول ۵- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول و دوم برای ۱۷ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم بهاره
Table 5- Eigen values and eigen vectors of two first components for 17 tolerance indices in spring wheat genotypes

شاخص‌ها	Indices	Yp	Ys	SSI	GMP	TOL	STI	HARM	MP	RDI	YI	YSI	DI	SSPI	ATI	K1STI	K2STI	SNPI	مقادیر ویژه Eigen value	درصد واریانس	Variance %	درصد تجمعی واریانس	Cumulative variance %
مولفه دوم	Second PC	0.257	-0.038	0.342	0.091	0.422	0.082	0.048	0.139	-0.342	-0.038	-0.342	-0.164	0.422	0.363	0.15	-0.01	-0.086	5.99		0.353		0.982
مولفه اول	First PC	0.193	0.305	-0.208	0.288	-0.5	0.289	0.298	0.27	0.208	0.305	0.208	0.282	-0.5	0.72	0.237	0.291	0.297	10.7		0.63		0.63



شکل ۲- نمایش گرافیکی مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در برابر هم برای شاخص‌های تحمل به تنش رطوبتی

Figure 2- Graphical presentation of first and second principle components against each other for water stress tolerance



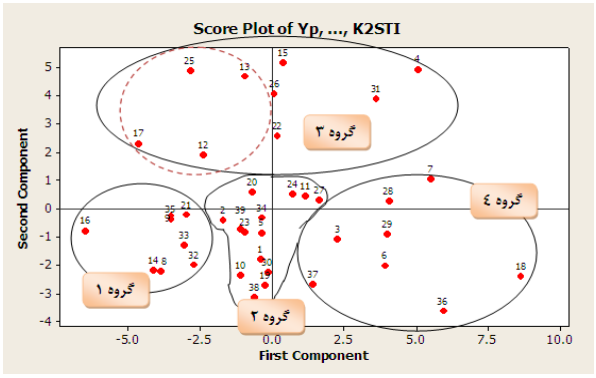
شکل ۳- نمایش گرافیکی مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در برابر هم برای ژنوتیپ‌های گندم بهاره مورد مطالعه

Figure 3- Graphical presentation of first and second principle components against each other for evaluated spring wheat genotypes

با توجه به مطالب گفته شده از آن‌جا که شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YI، DI، MSTI و SNPI همبستگی بالا، مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط بدون تنش (آبیاری) و تنش خشکی نشان دادند و با یکدیگر دارای همبستگی رتبه‌ای بالایی بودند، لذا به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی می‌شوند. این قسمت از تحقیق با نتایج زهراوی (۳۹)، پورچ (۳۱) و فرشادفر (۱۲) مطابقت دارد. شاخص‌های SSI، TOL، SSPI، RDI و YSI به علت نداشتن همزمان همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در شرایط نرمال و تنش نمی‌توانند در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل با پتانسیل عملکرد بالا معرفی شوند. با توجه به اینکه شاخص ATI علاوه بر همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در هر دو شرایط با شاخص‌های SSI، TOL و SSPI نیز همبستگی بالایی دارد باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا در هر دو شرایط ولی افت عملکرد تقریباً بالا در شرایط تنش می‌شود و لذا جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحل در این پژوهش مناسب شناخته نشد (۱۱).

با توجه به شکل ۴ مقادیر به‌دست آمده برای مؤلفه اول و دوم (جدول ۳) مشخص می‌شود ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه ۱ و ۲ بای‌پلات و نزدیک محور افقی قرار دارند، ژنوتیپ‌هایی با مقادیر عملکرد بالا در هر دو شرایط و حساسیت به تنش کم می‌باشند، از میان این ژنوتیپ‌ها آنهایی که در ناحیه ۲ بای‌پلات قرار دارند نسبت به ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه ۱ قرار دارند دارای مقادیر پایین‌تر شاخص‌های TOL، SSI، SSPI و ATI نیز می‌باشند، به‌عبارت دیگر به علت کم بودن درصد تغییرات عملکردشان در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب علاوه بر پتانسیل عملکرد بالا از پایداری عملکرد بیشتری نیز برخوردار هستند.

ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه ۳ و ۴ بای‌پلات و در دو طرف مؤلفه اول (محور افقی) قرار دارند دارای مقادیر کمی برای شاخص‌های گروه دوم و سوم (پتانسیل عملکرد پایین) بودند و عملکرد پایینی در شرایط معمولی و تنش خشکی داشتند و براساس شاخص SSI و SSPI از حساسیت بالایی به تنش برخوردار بودند. از میان این ژنوتیپ‌ها، آنهایی که در ناحیه ۳ بای‌پلات قرار گرفته‌اند، از آنجایی که مؤلفه دوم، ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بالای شاخص‌های SSI، TOL، SSPI و ATI را انتخاب می‌کند از پایداری عملکرد کمتری برخوردار هستند و ژنوتیپ‌هایی که در ناحیه ۴ و در زیر محور افقی قرار دارند ژنوتیپ‌هایی هستند که فقط براساس شاخص‌های SSI، TOL و SSPI مقاوم می‌باشند (فقط دارای درصد تغییرات کم در عملکرد هستند) (شکل ۴).



شکل ٤- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم براساس مؤلفه اول و دوم به‌دست آمده برای شاخص‌های تحمل به تنش (شماره ژنوتیپ‌ها بر مبنای جدول ۱)

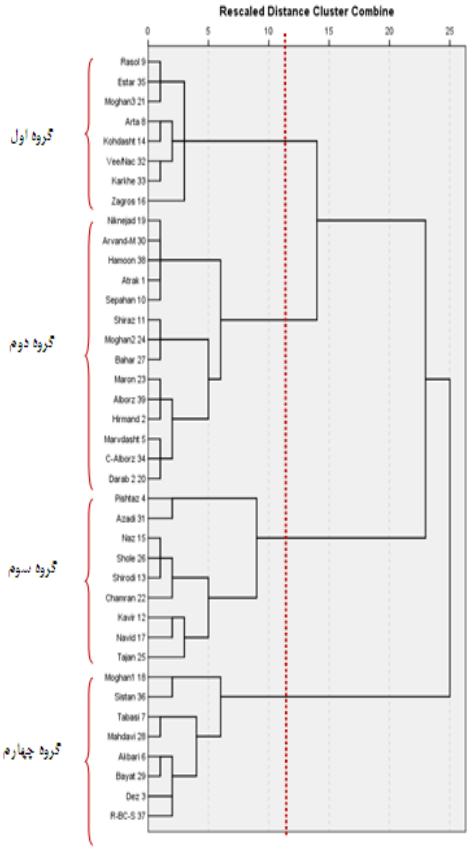
Figure 4- Grouping of wheat genotypes based on first and second components for stress tolerance indices (for genotype numbers refer to table 1)

جهت گروه‌بندی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها بر روی نمودار دوبعدی براساس شاخص‌های تحمل به تنش، با توجه به مقادیر مؤلفه اول و

دوم به‌دست آمده برای هر ژنوتیپ تجزیه خوشه‌ای به روش وارد و فاصله اقلیدوسی به‌عنوان معیار تشابه انجام گرفت (شکل ۵). تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در ۴ گروه اصلی گروه‌بندی نمود که محل قرارگیری این چهار گروه در روی بای‌پلات مؤلفه اول و دوم در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، ژنوتیپ‌های قرار گرفته در گروه ۴ (مغان ۱، سیستان، طبسی، مهدوی، اکبری، بیات، دز و بک کراس روشن بهاره) دارای مقادیر مثبت برای مؤلفه اول و مقادیر منفی (یا پایین) برای مؤلفه دوم می‌باشند، در نتیجه نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از پتانسیل و پایداری عملکرد بالاتری در شرایط تنش رطوبتی برخوردار بودند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در گروه دوم نسبت به گروه سوم از پتانسیل عملکرد پایین‌تری برخوردار بودند اما ژنوتیپ‌های گروه سوم به‌خصوص ژنوتیپ‌های قرار گرفته در نقطه‌چین (شیرودی، تجن، نوید، کویر) از پایداری عملکرد پایینی در شرایط تنش برخوردار بودند. در نهایت اعضای گروه اول کمترین پتانسیل عملکرد را در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی داشتند (شکل ۴ و ۵).

همچنین جهت تعیین تأثیر تنش رطوبتی بر اجزای عملکرد و نیز بررسی ارتباط آنها با حساسیت و تحمل ارقام گندم مورد مطالعه، شاخص حساسیت به تنش SSI برای اجزای عملکرد (تعداد سنبله بارور، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله) و نیز سایر صفات وارد شده در مدل رگرسیون (وزن دانه در سنبله، عملکرد کاه و طول سنبله) محاسبه شد (جدول ۶). تنش رطوبتی در مجموع باعث کاهش ۱۹/۱ درصدی تعداد سنبله بارور در اکثر ژنوتیپ‌ها شد. تنش رطوبتی در مرحله گرده‌افشانی می‌تواند بر باروری سنبله‌های پنجه‌هایی که نسبتاً دیرتر به گل رفته، تأثیر گذاشته و باعث کاهش تعداد سنبله بارور گردد (۱). همانطور که در جدول ۶ مشخص است ارقام قرار گرفته در گروه چهارم (شکل ۴ و ۵) از نظر شاخص SSI برای تعداد سنبله بارور، حساسیت کمتری دارند (کمتر از واحد) و برای ژنوتیپ بیات تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار نگرفت. در مقابل برخی ارقام حساس معرفی شده براساس مؤلفه اول و دوم، مانند کرخه، شیرودی و تجن برای این صفت حساسیت بالایی را نشان دادند. تنش رطوبتی در مجموع باعث کاهش ۱۷/۶ درصد وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها شد (جدول ۶).

کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش رطوبتی انتهای فصل با نتایج سعیدپور (۳۶) مطابقت دارد. همانطور که در جدول ۶ مشخص است ژنوتیپ‌های متحمل گروه چهارم دارای شاخص SSI کمتر از واحد (به‌جز ژنوتیپ بیات) و اکثر ارقام حساس دارای SSI بیشتر از واحد برای این صفت می‌باشند. تنش رطوبتی درمجموع باعث کاهش ۱۴/۷ درصد تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌ها شد.



شکل ۵- نمایش گرافیکی تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم براساس مقادیر مؤلفه اول و دوم برای ۱۷ شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش رطوبتی

Figure 5- Graphical presentation of cluster analysis in wheat genotypes based on first and second components for 17 stress tolerance indices

اعمال تنش در مرحله گرده‌افشانی موجب عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها می‌گردد که می‌تواند دلیلی بر کاهش تعداد دانه در ژنوتیپ‌ها باشد (۳۳).

شاخص حساسیت به تنش در ارقام گروه چهارم برای تعداد دانه در سنبله نیز کمتر از واحد و ژنوتیپ‌های حساس بود (جدول ۶). تنش خشکی باعث کاهش وزن دانه در سنبله (۲۱/۴ درصد) شد که به علت کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله در ژنوتیپ‌ها می‌باشد، که برای ژنوتیپ‌های گروه ۴ کمتر از واحد بود. همچنین تنش رطوبتی به‌ترتیب باعث کاهش ۹/۷ و ۲۳/۸ درصدی طول سنبله و عملکرد کاه ژنوتیپ‌ها شد، که این کاهش برای اکثر ارقام پایدار و متحمل از نظر عملکرد دانه کمتر از واحد بود.

جدول ٦- برآورد شاخص‌های حساسیت به تنش رطوبتی (SSI) در ژنوتیپ‌های گندم بهاره بر اساس میانگین صفات اجزای عملکرد و صفات وارد شده در مدل رگرسیون تحت شرایط آبیاری (بدون تنش) و تنش رطوبتی

Table 6- Estimation of stress susceptibility index (SSI) in spring wheat genotypes using yield components average in regression model under irrigated and stress conditions

ژنوتیپ Genotype	تعداد دانه در سنبله Seed per spike			وزن هزار دانه (گرم) One thousand seed weight (g)			سنبله بارور (متر مربع) Fertile spike (m^2)		
	تنش	نرمال	SSI	تنش	نرمال	SSI	تنش	نرمال	SSI
Atrak	42.53	49.97	1.01	21.68	35.33	2.19	457.33	544.00	0.83
Hirmand	31.13	39.63	1.46	32.63	37.02	0.67	406.67	508.00	1.04
Dez	37.91	40.53	0.44	30.64	33.75	0.52	455.67	526.33	0.70
Pishtaz	33.71	38.00	0.77	32.50	34.01	0.25	615.00	849.00	1.44
Marvdasht	43.67	53.10	1.21	24.47	29.36	0.95	456.67	563.00	0.98
Akbari	36.03	39.77	0.64	39.80	44.83	0.64	593.00	623.50	0.25
Tabasi	34.57	38.23	0.65	34.56	37.71	0.47	590.33	696.67	0.80
Arta	30.87	33.30	0.50	22.13	29.95	1.48	521.33	505.00	-0.17
Rasool	31.10	40.23	1.54	27.57	35.54	1.27	378.67	442.33	0.75
Sepahan	37.67	44.33	1.02	23.37	29.71	1.21	462.67	556.67	0.88
Shiraz	40.00	44.20	0.64	24.13	29.55	1.04	611.67	637.33	0.21
Kavir	37.30	47.33	1.44	30.16	36.59	1.00	342.00	510.67	1.72
Shiroodi	42.07	50.63	1.15	29.72	38.76	1.32	373.00	722.33	2.52
Koohdasht	32.17	38.50	1.12	23.58	31.85	1.47	294.67	377.33	1.14
Naz	28.97	37.23	1.51	36.53	51.29	1.63	545.33	683.00	1.05
Zagros	33.13	42.60	1.51	26.05	31.71	1.01	380.00	440.50	0.72
Navid	33.80	37.50	0.67	20.11	25.60	1.22	314.67	421.50	1.32
Moghan1	40.93	49.03	1.12	32.29	35.24	0.47	599.33	626.67	0.23
Niknejhad	39.53	46.95	1.07	26.10	30.17	0.76	428.00	450.33	0.26
Darab2	31.73	37.13	0.99	26.13	34.33	1.36	449.33	532.33	0.81
Moghan3	43.77	49.40	0.77	29.35	31.83	0.44	300.00	349.00	0.73
Chamran	32.67	46.57	2.03	26.04	34.11	1.34	452.00	644.33	1.56
Maroon	34.27	38.60	0.76	31.76	38.63	1.01	344.00	441.67	1.15
Moghan2	39.47	49.57	1.38	23.97	28.57	0.91	386.00	545.67	1.52
Tajan	37.33	48.70	1.58	24.19	32.47	1.45	392.67	632.50	1.98
Shole	34.07	38.77	0.82	32.07	37.30	0.80	609.00	821.67	1.35
Bahar	39.47	44.13	0.72	23.06	32.07	1.59	440.67	613.67	1.47
Mahdavi	48.20	55.07	0.85	29.46	34.71	0.86	540.00	654.00	0.91
Baiat	39.70	41.93	0.36	29.93	39.91	1.42	504.67	459.33	-0.51
M.Arvand	33.60	38.80	0.91	35.00	40.53	0.77	537.33	610.00	0.62
Azadi	47.07	57.55	1.24	25.07	27.87	0.57	585.00	794.00	1.37
Vireenak	32.33	42.00	1.56	23.80	29.69	1.13	438.33	515.33	0.78
Karkhe	50.00	50.95	0.13	29.33	31.82	0.44	300.67	606.33	2.63
Cross Alborz	40.87	51.33	1.38	29.26	30.03	0.15	366.67	515.00	1.50
Estar	37.40	42.70	0.84	25.09	31.27	1.12	303.33	438.33	1.60
Sistan	37.00	42.00	0.81	37.50	45.22	0.97	535.67	557.67	0.21
S.B. Roshan	36.03	36.30	0.05	35.66	42.34	0.89	400.67	441.67	0.48
Hamoon	37.07	37.83	0.14	29.03	35.23	1.00	354.67	349.00	-0.08
Alborz	29.10	38.07	1.60	32.39	39.17	0.98	445.67	466.67	0.23
SI	–	–	14.7	–	–	21.4	–	–	19.1

ادامه جدول ٦-

Continue of Table 6-

ژنوتیپ Genotype	عملکرد کاه Straw yield			وزن دانه در سنبله (گرم) Seed weight in spike (g)			طول سنبله (سانتی‌متر) Spike length (cm)		
	تنش	نرمال	SSI	تنش	نرمال	SSI	تنش	نرمال	SSI
Atrak	6.07	5.96	-0.08	1.24	2.06	1.86	8.71	9.30	0.66
Hirmand	6.53	8.53	0.98	1.37	1.83	1.18	10.17	10.57	0.39
Dez	5.98	7.12	0.67	1.49	1.57	0.26	8.80	9.42	0.68
Pishtaz	6.89	10.14	1.34	1.45	1.71	0.71	9.28	10.22	0.95
Marvdasht	6.58	7.14	0.33	1.60	1.74	0.37	8.55	9.31	0.84
Akbari	6.84	7.75	0.50	1.78	2.19	0.86	9.29	10.02	0.75
Tabasi	8.17	10.79	1.02	1.67	1.70	0.08	10.14	10.42	0.28
Arta	4.78	7.41	1.49	1.05	1.19	0.55	9.07	9.91	0.87
Rasool	5.72	6.86	0.70	1.16	1.65	1.40	9.72	9.93	0.22
Sepahan	5.24	6.76	0.94	1.27	1.56	0.86	8.86	9.53	0.72
Shiraz	6.92	9.50	1.14	1.33	1.86	1.32	10.70	12.08	1.18
Kavir	4.58	6.20	1.10	1.53	2.01	1.12	9.23	9.99	0.78
Shiroodi	4.28	9.33	2.27	1.80	2.17	0.78	9.58	10.52	0.92
Koohdasht	6.09	6.46	0.24	1.06	1.54	1.45	10.73	11.37	0.58
Naz	5.32	9.61	1.87	1.51	2.21	1.48	9.53	10.11	0.59
Zagros	4.81	8.00	1.67	1.06	1.43	1.20	6.32	9.76	3.63
Navid	5.35	8.43	1.53	0.93	1.47	1.73	8.89	10.26	1.37
Moghan1	6.85	7.20	0.20	1.73	2.00	0.62	9.24	9.30	0.07
Niknejhad	6.15	7.81	0.89	1.40	1.57	0.49	9.23	9.65	0.44
Darab2	5.78	6.05	0.19	1.12	1.64	1.49	6.52	9.80	3.45
Moghan3	3.82	6.80	1.84	1.69	1.99	0.71	9.58	10.07	0.50
Chamran	5.70	8.28	1.31	1.13	1.78	1.70	8.51	9.66	1.22
Maroon	3.78	3.59	-0.23	1.29	1.76	1.26	9.95	10.71	0.74
Moghan2	7.18	8.22	0.53	1.57	1.79	0.59	9.17	9.78	0.65
Tajan	4.79	7.16	1.39	1.29	1.89	1.48	9.42	10.82	1.33
Shole	7.77	13.64	1.80	1.48	1.70	0.61	9.23	9.32	0.10
Bahar	5.65	7.91	1.20	1.24	1.65	1.14	7.03	10.79	3.59
Mahdavi	6.28	7.04	0.45	1.81	2.24	0.89	10.65	11.55	0.80
Baiat	7.98	9.64	0.72	1.60	1.94	0.82	9.17	9.52	0.37
M.Arvand	7.70	10.56	1.14	1.59	1.98	0.90	9.28	10.22	0.95
Azadi	8.05	12.85	1.57	1.51	1.97	1.09	10.33	11.27	0.86
Vireenak	5.66	5.84	0.13	1.08	1.50	1.30	8.98	9.97	1.02
Karkhe	4.27	7.29	1.73	1.78	2.28	1.01	7.00	7.78	1.03
Cross Alborz	5.39	7.31	1.10	1.50	1.78	0.72	10.27	11.00	0.69
Estar	4.79	6.53	1.12	1.20	1.68	1.32	9.42	10.30	0.88
Sistan	7.58	7.64	0.03	1.86	2.10	0.54	9.95	10.77	0.78
S.B. Roshan	5.79	5.85	0.04	1.54	1.90	0.89	9.19	9.22	0.03
Hamoon	4.78	5.28	0.40	1.48	1.65	0.50	9.19	9.42	0.25
Alborz	5.24	5.34	0.08	1.11	1.73	1.66	6.79	10.28	3.49
SI	-	-	23.8	-	-	21.4	-	-	9.7

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از این آزمایش بیانگر آن است که بین ژنوتیپ‌های گندم بهاره مورد بررسی از لحاظ تولید دانه در شرایط تنش و بدون تنش و همچنین از لحاظ تحمل به تنش رطوبتی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در شرایط مطلوب صفات تعداد سنبله بارور، وزن هزار دانه و طول سنبله و در شرایط تنش صفات تعداد سنبله بارور، وزن دانه در سنبله و عملکرد کاه مهمترین صفات در توجیه تنوع موجود در عملکرد دانه بودند. نتایج تجزیه همبستگی و مؤلفه‌های اصلی بر روی شاخص‌های محاسبه شده نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI، HARM، YI، DI، K1STI،

K2STI و SNPI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل در شرایط تنش رطوبتی در این پژوهش بودند. براساس این شاخص‌های برتر و بای پلات ترسیم شده، از بین ۳۹ ژنوتیپ گندم مورد مطالعه، ارقام قرار گرفته در گروه چهارم (مغان۱، سیستان، طبسی، مهدوی، اکبری، بیات، دز و بک کراس روشن بهاره) متحمل‌ترین و ارقام تجن، شیرودی، نوید، کویر، زاگرس، کرخه، ویری ناک و کوهدشت حساس‌ترین ارقام به تنش خشکی تشخیص داده شدند.

جدول ۷- برآورد شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم بهاره بر اساس عملکرد دانه (تن در هکتار) در شرایط آبیاری (بدون تنش) و تنش رطوبتی

Table 7- Estimation of stress susceptibility index in spring wheat genotypes based on seed yield (t ha^{-1}) in normal and stress conditions

نام ژنوتیپ	Yp	Ys	SSI	GM	TOL	STI	Harm	MP	RDI
Atrak	5.00	3.18	0.85	3.99	1.81	0.49	3.89	4.09	1.12
Hirmand	5.18	2.82	1.06	3.82	2.36	0.45	3.65	4.00	0.95
Dez	5.86	3.93	0.77	4.80	1.93	0.71	4.70	4.89	1.17
Pishtaz	8.27	4.40	1.09	6.03	3.88	1.13	5.74	6.33	0.93
Marvdasht	5.34	3.20	0.93	4.14	2.14	0.53	4.00	4.27	1.05
Akbari	5.89	4.36	0.61	5.07	1.53	0.80	5.01	5.13	1.30
Tabasi	7.13	4.69	0.80	5.78	2.43	1.04	5.66	5.91	1.15
Arta	3.88	2.17	1.03	2.90	1.72	0.26	2.78	3.02	0.98
Rasool	4.77	2.31	1.20	3.32	2.46	0.34	3.11	3.54	0.85
Sepahan	4.61	2.98	0.83	3.71	1.63	0.43	3.62	3.79	1.13
Shiraz	6.13	3.60	0.96	4.70	2.53	0.69	4.54	4.87	1.03
Kavir	5.89	2.60	1.30	3.91	3.29	0.48	3.61	4.25	0.77
Shiroodi	7.26	2.89	1.40	4.58	4.37	0.65	4.13	5.07	0.70
Koohdasht	3.82	2.10	1.05	2.83	1.72	0.25	2.71	2.96	0.96
Naz	7.66	3.22	1.35	4.96	4.45	0.76	4.53	5.44	0.74
Zagros	3.65	1.45	1.41	2.30	2.20	0.16	2.07	2.55	0.69
Navid	5.52	1.96	1.50	3.29	3.56	0.34	2.89	3.74	0.62
Moghan1	6.60	5.49	0.39	6.02	1.11	1.12	5.99	6.04	1.46
Niknejhad	4.71	3.22	0.74	3.89	1.50	0.47	3.82	3.96	1.20
Darab2	5.79	3.10	1.08	4.23	2.69	0.56	4.04	4.44	0.94
Moghan3	4.93	2.46	1.17	3.48	2.47	0.38	3.28	3.70	0.88
Chamran	6.69	3.28	1.19	4.69	3.40	0.68	4.40	4.98	0.86
Maroon	5.20	3.04	0.97	3.97	2.16	0.49	3.83	4.12	1.02
Moghan2	6.06	3.48	0.99	4.60	2.58	0.66	4.43	4.77	1.01
Tajan	6.99	2.36	1.54	4.06	4.64	0.51	3.53	4.68	0.59
Shole	7.20	3.19	1.30	4.80	4.01	0.71	4.42	5.20	0.78
Bahar	6.18	3.73	0.93	4.80	2.45	0.72	4.65	4.96	1.06
Mahdavi	6.64	4.36	0.80	5.38	2.28	0.90	5.26	5.50	1.15
Baiat	6.25	4.37	0.70	5.23	1.88	0.85	5.14	5.31	1.22
M.Arvand	4.88	3.25	0.78	3.98	1.64	0.49	3.90	4.07	1.17
Azadi	7.73	4.11	1.09	5.64	3.62	0.99	5.37	5.92	0.93
Vireenak	4.31	2.51	0.97	3.29	1.80	0.34	3.18	3.41	1.02
Karkhe	4.49	2.44	1.07	3.31	2.05	0.34	3.16	3.46	0.95
Cross Alborz	5.53	3.20	0.98	4.21	2.33	0.55	4.05	4.37	1.01
Estar	4.71	2.30	1.19	3.29	2.41	0.34	3.09	3.51	0.85
Sistan	5.77	4.84	0.37	5.29	0.93	0.87	5.27	5.31	1.47
S.B. Roshan	5.12	3.68	0.66	4.34	1.44	0.58	4.28	4.40	1.26
Hamoon	4.47	3.10	0.71	3.72	1.37	0.43	3.66	3.78	1.22
Alborz	5.21	3.00	0.99	3.95	2.21	0.48	3.81	4.10	1.01

Ys: عملکرد در شرایط تنش Yp: عملکرد در شرایط نرمال (SI=0.429)

ادامه جدول ۷-

Continue of Table 7-

نام ژنوتیپ	YI	YSI	DI	SSPI	ATI	K1	K2	SNPI
Atrak	0.98	0.64	0.63	15.99	4.13	0.38	0.48	6.11
Hirmand	0.87	0.54	0.47	20.75	5.14	0.38	0.34	5.19
Dez	1.21	0.67	0.81	17.03	5.29	0.76	1.05	7.70
Pishtaz	1.36	0.53	0.72	34.17	13.35	2.40	2.08	8.05
Marvdasht	0.99	0.60	0.59	18.85	5.05	0.47	0.52	6.02
Akbari	1.35	0.74	1.00	13.48	4.43	0.86	1.44	9.09
Tabasi	1.45	0.66	0.95	21.44	8.03	1.64	2.18	9.14
Arta	0.67	0.56	0.37	15.11	2.84	0.12	0.12	4.00
Rasool	0.71	0.48	0.34	21.68	4.66	0.24	0.17	4.18
Sepahan	0.92	0.65	0.59	14.39	3.45	0.28	0.36	5.75
Shiraz	1.11	0.59	0.65	22.31	6.80	0.80	0.85	6.74
Kavir	0.80	0.44	0.35	29.01	7.36	0.51	0.31	4.68
Shiroodi	0.89	0.40	0.35	38.52	11.43	1.07	0.52	5.20
Koohdasht	0.65	0.55	0.36	15.17	2.78	0.11	0.10	3.87
Naz	0.99	0.42	0.42	39.18	12.60	1.39	0.75	5.79
Zagros	0.45	0.40	0.18	19.42	2.89	0.07	0.03	2.60
Navid	0.60	0.35	0.21	31.40	6.68	0.32	0.12	3.54
Moghan1	1.69	0.83	1.41	9.79	3.82	1.52	3.22	12.92
Niknejhad	0.99	0.68	0.68	13.18	3.32	0.32	0.46	6.37
Darab2	0.96	0.53	0.51	23.73	6.51	0.58	0.51	5.68
Moghan3	0.76	0.50	0.38	21.72	4.90	0.28	0.22	4.48
Chamran	1.01	0.49	0.50	29.97	9.10	0.95	0.70	5.96
Maroon	0.94	0.58	0.55	19.07	4.91	0.41	0.43	5.67
Moghan2	1.08	0.57	0.62	22.74	6.77	0.75	0.76	6.48
Tajan	0.73	0.34	0.25	40.85	10.75	0.78	0.27	4.28
Shole	0.99	0.44	0.44	35.35	10.98	1.15	0.69	5.75
Bahar	1.15	0.60	0.69	21.62	6.73	0.85	0.95	7.03
Mahdavi	1.35	0.66	0.88	20.08	7.00	1.23	1.63	8.48
Baiat	1.35	0.70	0.94	16.56	5.61	1.03	1.54	8.77
M.Arvand	1.00	0.67	0.67	14.41	3.72	0.36	0.50	6.35
Azadi	1.27	0.53	0.67	31.88	11.6	1.83	1.59	7.53
Vireenak	0.78	0.58	0.45	15.83	3.38	0.19	0.20	4.70
Karkhe	0.75	0.54	0.41	18.08	3.88	0.21	0.19	4.48
Cross Alborz	0.99	0.58	0.57	20.54	5.60	0.52	0.54	5.96
Estar	0.71	0.49	0.35	21.26	4.53	0.23	0.17	4.17
Sistan	1.50	0.84	1.26	8.16	2.80	0.90	1.94	11.58
S.B. Roshan	1.14	0.72	0.82	12.68	3.57	0.48	0.75	7.51
Hamoon	0.96	0.69	0.66	12.05	2.91	0.27	0.39	6.19
Alborz	0.93	0.58	0.53	19.47	4.99	0.41	0.42	5.58

اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های متحمل ذکر شده پایداری بیشتر و حساسیت کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس داشت که می‌تواند آن را دلیل متحمل بودن این ژنوتیپ‌ها دانست. لذا، این ژنوتیپ‌ها جهت تلاقی و تجزیه ژنتیکی مقاومت به خشکی با استفاده از طرح دای‌آلل یا تجزیه میانگین نسل‌ها و هم‌چنین برای نقشه‌یابی QTL و انتخاب به کمک نشانگر جهت تحمل به تنش رطوبتی آخر فصل توصیه می‌شوند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای مهندس علیرضا گرزی و دکتر فاضل نجف آبادی به خاطر همکاری صمیمانه در اجرای این طرح قدردانی می‌شود.

References

1. Abhari, A., Galeshi, S., Latifi, N., and Kalateh, M. 2008. The effect of some growth parameters on grain yield of wheat genotypes yield under drought stress conditions. Journal of Agriculture Science 6: 81-92.
2. Ahmadi, A., Joudi, M., and Janmohammadi, M. 2009. Late defoliation and wheat yield: Little evidence of postanthesis source limitation. Field Crops Research 113: 90-93.
3. Alam, M. S., Rahman, A. H. M., Nesa, M. N., Khan, S. K., and Siddquie, N. A. 2008. Effect of source and/or sink restriction on the grain yield in wheat. Europe Journal Applied Science Research 4 (3): 258-261.
4. Babu, R. C., Zhang, J., Blum, A., Ho, T-HD., Wu, R., and Nguyen, H. T. 2004. HVA1, a LEA gene from barley confers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection. Plant Science 166: 855-862.
5. Beltrano, J., and Ronco, M. G. 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: effect on growth and cell membrane stability. Brazilian Journal of Plant Physiology 20: 29-37.
6. Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.
7. Braun, H. J., Atlin, G., and Payne, T. 2010. Multilocation testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds MP, ed. Climate change and crop production. Wallingford, UK: CABI Publishers, 115-13.
8. Chowdhry, M. A., Ali, M., and Subhani, G. M., and Khaliq, I. 2008. Path coefficient analysis for water use efficiency, evapo-transpiration efficiency, transpiration efficiency and some yield related traits in wheat. Pakistan Journal of Biological Sciences 3: 313-317.
9. Emam, Y. 2007. Cereal Production. Shiraz University Press. Third edition. 190 pages. (in Persian).
10. Eskandari, H., and Kazemi, K. 2010. Response of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to post-anthesis water deficit. Notulae Scientia Biologicae 2 (4): 49-52.
11. Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica 50 (4): 411-416.
12. Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., Safavi, S. M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2: 143-158.
13. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the Symposium of AVRDC, 13-16 Aug. Taiwan.
14. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain responses, Australian Journal of Agriculture Research 29: 897-912.
15. Fischer, R. A., and Wood, J. T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III Yield association with morpho-physiological traits, Australian Journal of Agriculture Research 30: 1001-1020.
16. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.
17. Golabadi, M., Arzani, A., and Mirmohamadi maibody, S. A. M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. African Journal of Agricultural Research 1: 162-171.
18. Heidari sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. The 10th Iranian congress of Crop Science, 18-20 Aug. 2008, SPII, Karaj, Iran.
19. Knight, C. A., Vogel, H., Kroymann, J., Shumate, A., Witsenboer, H., and Mitchell-Olds, T. 2006. Expression profiling and local adaptation of populations for water use efficiency across a naturally occurring water stress gradient. Moecular Ecology 15: 1229-1237.
20. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Bor-occid Sinica 7: 85-87.
21. Majidi, M., Tavakoli, V., Mirlohi, A., and Sabzalian, M. R. 2011. Wild safflower species (Carthamus oxyacanthus Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. Australian Journal of Crop Science 5 (8): 1055-1063.
22. Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Curr Science 80: 758-762.
23. Moayedi, A. A., Boyce, A. N., and Barakbah, S. S. 2010. The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and yield component under different water deficit conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4 (1): 106-113.
24. Moghaddam, A., and Hadizade, M. H. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Plant Seed Journal 18 (3): 255-272. (in Persian).
25. Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D., and Amri, A. 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating

durum wheat genotypes under mild drought conditions. International Journal of Plant Production 4 (1): 1735-8043.
26. Mohammadi, V., Qannadha, M. R., Zali, A. A., and Yazdi- Samadi, B. 2010. Effect of Post Anthesis Hear Stress on Head Traits of Wheat. T. International Journal of Agriculture & Biology 1: 42-44.
27. Monajjem, S., Mohammadi, V., and Ahmadi, A., 2011. Evaluation of drought stress in some canola cultivars using stress selection indices. Electronic Journal of Plant Production 4: 151-169.
28. Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert 12: 165-178.
29. Naeemi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Modares Sanavi, S. A. M., Sadat Nuri, S. A., and Jabari, H. 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Eelectronic Journal of Crop Production 1 (3): 83-98. (in Persian).
30. Nofouzi, F., Rashidi, V., and Tarinejad, A. R. 2008. Path Analysis of Grain Yield with Its Components in Durum Wheat under Drought Stress. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. Turkey, pp. 681-686.
31. Porch, T. G. 2006. Application of stress indicess for heat tolerance screening of common bean. Journal of Agronomy and Crop Science 192: 390-394.
32. Rebetzke, G. J., Richards, R. A., Condol, A. G., and Farquhar, G. D. 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum L.*). Euphytica.
33. Richards, R. A., Condol, A. G., and Rebetzke, G. J. 2001. Application of Physiology in wheat breeding. In: M.P. Reynolds, J.U. Ortiz-Monasterio and A. Mcnab (Eds), CIMMYT, Mexico.
34. Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21 (6): 943-946.
35. Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., and Blanco, D. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. Europe Journal Agronomy 20: 419-430.
36. Saeedpour, S. 2011. Effect of drought at the post-anthesis stage on remobilization of carbon reserves in two wheat cultivars differing in senescence properties. African Journal of Biotechnology 10 (18): 3549-3557.
37. Taghian, A. S., and Abo-Elwafa, A. 2003. Multivariate and RAPD analyses of drought tolerance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Assuit Journal of Agricultural Sciences 34: 1-24.
38. Yan, W., and Kang, M. S. 2003. Biplot Analysis: A graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomist, CRC Press, Boca Raton, FL. 313.
39. Zahravi, M. 2009. Evaluation of Genotypes of Wild Barley (*Hordeum spontaneum*) Based on Drought Tolerance Indices. Seed and Plant Improvement Journal 25: 533-549. (in Persian).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 524-542

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۵۴۲-۵۲۴

Evaluation of Drought Tolerance in Some Wheat Genotypes Based on Selection Indices

M. Mohseni[1]- S. M. M. Mortazavian[2*]- H. A. Ramshini[2]- B. Foghi[3]

Received: 05-10-2013
Accepted: 08-07-2014

Introduction

Wheat is a major crop among cereals and plays a vital role in the national economy of developing countries. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important crops in terms of acreage and production rates in the world. This crop has an important role in the food supply. According to the FAO (2010) statistics report, the average wheat yield in Iran was 2136 kg ha^{-1}, while the worldwide average yield was 3009 kg ha^{-1}. Iran, with an average annual rainfall of 250 mm, is located in the world desert belt. Yield loss due to drought stress is likely higher than other stresses. Therefore, introducing plants with high production under both drought stress and non-stress conditions is highly regarded. Stress tolerance indices are used for screening drought tolerant varieties. Tolerance (TOL), mean productivity (MP), stress susceptibility index (SSI), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance index (STI) and modified STI (MSTI) have been employed under various conditions. Fischer and Maurer (1978) explained that cultivars with an SSI less than a unit are stress tolerant, since their yield reduction under stress conditions is smaller than the mean yield reduction of all cultivars (Bruckner and Frohberg, 1987). Mean productivity, GMP, harmonic mean (HM) and STI were reported as preferred criteria in selection of drought-tolerant barley genotypes by Baheri et al. (2003). Yield Index (YI) proposed by Gavuzzi et al. (1997), was significantly correlated with stress yield which ranks cultivars on the basis of their yield under stress. The genotypes with a high Yield Stability Index (YSI) are expected to have higher yield under both stress and non-stress conditions (Bouslama and Schapaugh, 1984). Mousavi et al (2008) introduced Stress Susceptibility Percentage Index (SSPI) as a powerful index to select extreme tolerant genotypes with yield stability. Fischer and Wood (1979) suggested that relative drought index (RDI) is a positive index for indicating stress tolerance. Lan (1998) defined a new drought resistance index (DI), which was commonly used to identify genotypes producing higher yield under both stress and non-stress conditions The objectives of this study were to evaluate the performance of different wheat cultivars under normal irrigation and drought stress conditions and to identify the most promising wheat genotypes for drought prone areas.

Materials and Methods

Thirty-nine spring bread wheat genotypes were evaluated under two irrigation regimes, normal and moisture stress at grain filling period for a year. Under normal conditions soil was irrigated up to field capacity, while under stress conditions after the onset of flowering, irrigation was delayed until wilting point took place. The study was conducted at College of Aburaihan, University of Tehran, Iran, in Pakdasht. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. Standard cultural practices were applied for all experiments. At harvest, grain yield (t ha^{-1}) was calculated on the basis of plot area.

Results and Discussion

Under normal irrigation, Pishtaz and Azadi (with 8.27 and 7.72 ton ha^{-1}, respectively) and under stress conditions Moghan1 and Sistan (with 5.48 and 4.84 ton ha^{-1}, respectively) had the highest grain yield. Based on regression analysis under normal and stress conditions, three variables entered the model and in normal conditions 70.8 percent and in stress conditions 64 percent of yield changes were explained. Based on grain yield, 15 susceptibility and stress tolerance indices were calculated. Results of correlation, principal component analysis and biplot display showed that GMP, STI, HARM, MP, YI, DI, MSTI and SNPI indices were the best criteria for genotype selection with high yield and stability in stress conditions. Cluster analysis (Ward method)

1- Graduated MSc student in plant breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences College of Aburaihan, University of Tehran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran
3- MSc, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran
(*- Corresponding Author Email: mortazavian@ut.ac.ir)

was also used based on indices and grain yield in both normal and stress conditions to classify genotypes in similar classes. Dispersion of genotypes in the biplot, revealed genetic diversity among the genotypes under drought stress.

Conclusions

Results showed that Moghan1, Sistan, Akbari, Bayat, Dez, Spring Roshan-BC, Mahdavi and Tabasi genotypes were identified as tolerant and Tajan, Navid, Shirodi, Zagros, Vee/Nak and Kohdasht genotypes as susceptible genotypes to terminal drought stress. These genotypes can be used for further cross and genetic analysis for drought tolerance through diallel or generation mean analysis designs.

Keywords: Drought tolerance, Principal component analysis, Regression, Tolerance indices