دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات
دوره پنجم/ شماره سوم/ پاییز ۱۳۹۴ (۲۴۶-۲۳۱)

ارزیابی توان تولید و تحمل به کم‌آبی در ژنوتیپ‌های گندم با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

مرتضی کامرانی[1*]، عباس فرضی[2] و اصغر عبادی[1]

۱- استادیار گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

(تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۹- تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۳)

چکیده

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دیم، آزمایشی با ۳۴ ژنوتیپ گندم در دو شرایط دیم (تنش خشکی) و آبیاری (بدون تنش) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن بوته، طول و وزن پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، میزان کلروفیل، طول، عرض و سطح برگ پرچم و روز تا رسیدگی شد، اما بر تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و روز تا خوشه‌دهی تاثیر معنی‌داری نداشت. ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب با میانگین عملکرد ۴/۲۹، ۴/۲۹ و ۴/۲۶ تن در هکتار، بالاترین عملکرد دانه را تحت شرایط تنش خشکی به خود اختصاص دادند، در حالی که تحت شرایط آبیاری، بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۳، ۲۲ و ۷ به ترتیب به میزان ۷/۴۴۰، ۵/۹۶۰ و ۵/۷۸۰ تن در هکتار بود. برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، از شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت به تنش (SSI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) استفاده شد. با توجه به اینکه شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI همبستگی بالایی با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند، به عنوان شاخص‌های مناسب جهت دستیابی به ارقام پرمحصول در هر دو شرایط محیطی معرفی می‌شوند. تجزیه خوشه‌ای به روش کمترین واریانس Ward بر پایه شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را در پنج گروه قرار داد. تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی نیز ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۷، ۱۱ و ۱۴ را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۸، ۳۰ و ۳۲ را به عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه به مولفه‌های اصلی، شرایط دیم، عملکرد دانه

* نویسنده مسئول: mor.kamrani@gmail.com

مقدمه

کم‌آبی به عنوان یکی از عوامل محدود کننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره این مناطق طبقه‌بندی می‌شود. بر اساس گزارشات فائو (Food and Agriculture Organization, 2010)، ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد، همچنین در حدود یک سوم اراضی قابل کشت در جهان با کمبود آب کافی برای کشاورزی مواجه هستند. با تغییرات آب وهوایی و افزایش جمعیت، این مشکل در آینده جدی‌تر خواهد شد (Houerou, 1996). متوسط کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در جهان به واسطه خشکی، حدود ۱۷ درصد است که می‌تواند سالیانه تا بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد (Sarmadnia, 1993). اصلاح ارقام مقاوم به خشکی، مهم‌ترین راه حل جهت مبارزه با مشکل خشکی به شمار می‌آید (Rebetzke *et al*., 2006). تحمل به خشکی، صفتی کمی محسوب می‌شود که روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد و از این‌رو شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی دشوار خواهد بود (Takeda and Matsuoka, 2008). از طرف دیگر، افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب، نیازمند شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و امور مدیریتی جهت افزایش آب قابل دسترس می‌باشد (Passioura, 2006).

ریچارد (Richards, 1996) بیان کرد که انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش، باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود، زیرا آلل‌های مطلوب تحت شرایط تنش خشکی انتخاب شده و تجمع آنها در ژنوتیپ‌های انتخابی موجب می‌شود همزمان پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش نیز حداکثر شود. فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را بر اساس واکنش آنها به شرایط محیطی تنش و بدون تنش به چهارگروه تقسیم کرد: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی فقط تحت شرایط بدون تنش (گروه B) و تنش دارند (گروهC) و در نهایت ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایینی تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند (گروه D). طبق نظر فرناندز (Fernandez,1992) مناسب‌ترین معیار جهت انتخاب در محیط‌های تنش معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد و شاخص‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند.

زینالی و همکاران (Zeinaly *et al*., 2004) در بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های سویا، از تجزیه به مولفه‌های اصلی و روش بای‌پلات استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که مولفه اول دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص‌های تحمل به تنش (STI=Stress Tolerance Index)، میانگین بهره‌وری (MP=Mean Productivity)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP=Geometric Mean Productivity)، و میانگین هارمونیک (HMP= Harmonic Mean Productivity) بود و ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به خشکی جدا کرد. دومین مولفه همبستگی بالایی با شاخص‌های تحمل (TOL=Tolerance) و حساسیت به تنش (SSI=Stress Susceptibility Index) داشت و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط تنش و حساس به خشکی که دارای میزان بالاتر TOL و SSI بودند را جدا کرد. شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al*., 2004) تحقیقی را جهت بررسی تحمل به خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم انجام دادند. نتایج تحقیق دو ساله آنها نشان داد که شاخص‌های TOL، MP و GMP، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند و شاخص‌های مفیدی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پرمحصول در هر دو شرایط محیطی بودند. گراوندی و همکاران (Geravandi *et al*., 2010) نیز با توجه به تحلیل همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه نشان دادند که شاخص‌های TOL، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند. ایلکر و همکاران (Ilker *at al*., 2011) با مطالعه گندم نان، مشاهده کردند که شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند و قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هستند. زبرجدی و همکاران (Zebarjadi *et al*., 2012) نیز با بررسی همبستگی بین شاخص‌های تحمل

به خشکی و عملکرد دانه در گندم نان نشان دادند که شاخص‌های MP و GMP دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند. اردلانی و همکاران (Ardalani *et al.*, 2015) نیز اثر تنش خشکی پس از گرده‌افشانی را بر عملکرد، اجزای عملکرد و تبادلات گازی چهار رقم گندم نان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که کاهش سرعت فتوسنتز با کاهش وزن هزار دانه، موجب کاهش عملکرد دانه ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل می‌شود و علاوه بر آن، پیری برگ‌ها از طریق کاهش شدیدتر سرعت فتوسنتز نسبت به سرعت تعرق، موجب کاهش راندمان مصرف آب ارقام گندم تحت شرایط تنش خشکی می‌شود.

هدف از این تحقیق، بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مختلف ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه و شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش و بدون تنش خشکی با استفاده از برخی شاخص‌های تحمل به تنش بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی شاخص‌های تحمل به تنش و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، ۳۴ ژنوتیپ گندم نان تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط تنش و بدون تنش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل واقع در اراضی روستای آلاروق با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه در سال ۹۲-۱۳۹۱ مورد مطالعه قرار گرفتند. هر واحد آزمایشی دارای ۴ ردیف ۴ متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود و ژنوتیپ‌ها با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع کشت شدند. قبل از کاشت، بذرها با سم کربوکسی تیرام ۲ در هزار ضد عفونی شدند. بعد از انجام عملیات متداول تهیه زمین (شامل شخم، کودپاشی، دیسک، تسطیح و ایجاد فارو)، کاشت در آبان ماه ۱۳۹۱ به صورت دستی انجام و زمین بلافاصله آبیاری شد. با توجه به نتایج آزمون خاک مزرعه، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات قبل از کاشت و ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در سه نوبت (یک سوم همزمان با کاشت، یک سوم در زمان ساقه رفتن و یک سوم در زمان خوشه‌دهی) مصرف شد. به منظور مبارزه با علف‌های هرز در مرحله پنجه‌زنی گندم، زمانی که علف‌های هرز ۴ تا ۵ برگی بودند، از علف‌کش 2.4.D. برای کنترل پهن برگ‌ها و از علف‌کش تاپیک برای کنترل باریک برگ‌ها استفاده شد. اطلاعات هواشناسی اردبیل در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در جدول ۲ ارایه شده است. این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و سرد بوده و دما در زمستان بیشتر زیر صفر است. حداقل و حداکثر دمای سالانه آن به ترتیب ۱/۹۸- و ۱۵/۱۸ درجه سلسیوس و حداکثر مطلق دما ۲۱/۸ درجه سلسیوس می‌باشد. اقلیم منطقه در تابستان اصولاً خشک است و زراعت دیم منطقه با تنش خشکی روبرو می‌شود. تحت شرایط بدون تنش پنج بار آبیاری انجام شد. آبیاری اول بلافاصله بعد از کشت در پاییز، آبیاری دوم در بهار در مرحله ساقه‌دهی، آبیاری سوم در مرحله خوشه‌دهی و آبیاری چهارم و پنجم در مرحله پرشدن دانه انجام شد، اما تحت شرایط تنش به منظور جوانه‌زنی یکنواخت، آبیاری مزرعه فقط در زمان کاشت انجام شد.

جهت تعیین میزان تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، هفت شاخص تحمل به تنش شامل SSI (Fischer and Maurer, 1978)، MP و TOL (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص پایداری عملکرد (YSI=Yield Stability Index) (Bouslama and Schapaugh, 1984) و شاخص‌های GMP، HMP و STI (Fernandez, 1992) به ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ۷ محاسبه شدند:

$$SSI = \frac{1-(Y_S / Y_P)}{1-(\overline{Y}_S / \overline{Y}_P)} \quad (۱)$$

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2} \quad (۲)$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (۳)$$

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P} \quad (۴)$$

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S} \quad (۵)$$

$$HMP = \frac{2(Y_P \times Y_S)}{Y_P + Y_S} \quad (۶)$$

$$STI = \frac{Y_P + Y_S}{\overline{Y}_P^2} \quad (۷)$$

که در این روابط Y_Pو Y_S به ترتیب عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و $\overline{Y}_P$ و $\overline{Y}_S$ به ترتیب میانگین عملکرد دانه همه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش LSD با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه

۹/۱، محاسبه همبستگی بین شاخص‌های تنش و رسم نمودار سه بعدی بین آنها با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA نسخه ۱۰ و تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مولفه‌های اصلی و رسم نمودار بای‌پلات به کمک نرم‌افزار STATGRAPH نسخه ۱۶/۱/۱۱ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط بر کلیه صفات مورد مطالعه به استثنای شاخص برداشت و تاریخ خوشه‌دهی معنی‌دار بود (جدول ۳). تفاوت ژنوتیپ‌ها نیز از نظر کلیه صفات به غیر از وزن بوته و وزن پدانکل، در هر دو محیط معنی‌دار بود که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. بنابراین، می‌توان برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی به صورت مستقیم از عملکرد و یا غیرمستقیم از طریق صفات مرتبط با عملکرد اقدام کرد. تنش خشکی روی همه صفات اثر منفی داشت و موجب کاهش آنها شد. بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی روی وزن پدانکل، طول پدانکل و سطح برگ پرچم بود که به ترتیب به میزان ۴۰/۳۴، ۳۵/۴۵ و ۳۳/۰۵ درصد کاهش یافتند (جدول ۴). تعداد دانه در سنبله به رابطه منبع و مخزن بستگی دارد. هرگونه تأثیر سوء تنش آبی بر فعالیت منبع یا مخزن، می‌تواند بر انتقال مواد پرورده تأثیر بگذارد. بنابراین، کاهش در صدور مواد از برگ می‌تواند ناشی از اختلال در عمل بارگیری مواد پرورده در منبع یا اختلال در عمل تخلیه مواد پرورده در مخزن باشد (Koocheki and Banayan-Aval, 1994).

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق

Table 1. Pedigree of the studied genotypes in this research

شماره ژنوتیپ Genotype no.	شجره Pedigree
1	Batera//Buc/To 173/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu
2	1-60-1//Emu"s"/Tjb 84/3/1-12628/4/Catbird
3	1-60-1//Emu"s"/Tjb84/3/1-12628/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu
4	CMH79A.1380(CMH79A.1380-3B-2Y-1B-1Y-6B-4Y-1B-1Y-0B)/Catbird
5	CMH83.1020/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu
6	CMH79A.210//CMH79A.955/CMH74A.487/3/Yaco/2*Parus
7	Alamoot*2/CMH 80A.763(CMH80A.763-1B-1Y-3B-1Y-2B-3Y-0Y)
8	Alamoot*2/7/Vee/CMH77A.917//Vee/6/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac
9	Alamoot*2/7/Vee/CMH77A.917//Vee/6/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac
10	Alamoot//CMH82A.678/Gaspard
11	Zarrin*2/7/Vee/CMH77A.917//Vee/6/CMH 79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac
12	Zarrin*2/7/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac/6/CMH83.2517
13	Zarrin*2/7/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac/6/CMH83.2517
14	Alvand*2/7/Vee/CMH77A.917//Vee/6/CMH 79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac
15	Alvand//CMH81.749/MV17
16	Alvand/4/CMH79A.210//CMH79A.955/CMH74A.487/3/Gaspard
17	Owl, 85224*-3H-*o-*HOH//CMH81.749/MV17
18	Owl,85224*-3H-*o-HOH/7/T.SPH/2*H567.71//CMH77.93/3/2*CMH79.959/5/T.SPH/2*H567.71
19	(Falat/5/Ti/3/Fn 1h//Nar/59*2/4/Boc)*2/6/Opata*2/Wulp
20	(Falat/5/Ti/3/Fn 1h//Nar/59*2/4/Boc)*2/6/Yaco/2*Parus
21	(Falat/5/Ti/3/Fn 1h//Nar/59*2/4/Boc)*2/6/Rsk/CA 8055//Cham 6
22	(Nik.N/6/Ald"s"/5/Rfn*2 1908/2*Cfn//Cc/3/2*Cno/4/Rsh)*2/7/Catbird
23	(Nik.N/6/Ald"s"/5/Rfn*2 1908/2*Cfn//Cc/3/2*Cno/4/Rsh)*2/7/Milan/Sha7
24	(Hys//Drc*2/7c/3/2*Rsh/4/1-125.77)*2/5/Opata*2/Wulp
25	(1-60-1//Emu"s"/Tjb 84/3/1-12628)*2/4/Yako/2*Parus
26	(Avd/Vee#1//1-27-6275/Cf 1770)*2/3/MV17
27	(Almt/Bow"s"//Nkt"s"/3/C-70-13/MV16)*2/4/Yako/2*Parus
28	(Zrn/Passarinho)*2//Catbird
29	(Fln/Acc//Ana/3/Pew"s"/4/F12.71/Coc//Cno79)*2/5/Opata*2/Wulp
30	(Fln/Acc//Ana/3/Pew"s"/4/F12.71/Coc//Cno79)*2/5/Catbird
31	(Viking/Inia)*2//Catbird
32	(Ald"s"/Snb"s"//Zarrin)*2/3/Catbird
33	Zarrin/7/Vee/CMH77A.917//Vee/6/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67
34	Zarrin/7/CMH79A.955/4/Aga/3/Sn64*4/Cno67//Inia66/5/Nac/6/CMH83.2517

جدول ۲- آمار هواشناسی ایستگاه اردبیل در سال زراعی ۱۳۹۲- ۱۳۹۱

Table 2. Meteorological details in Ardabil station for 2012-2013 cropping season

Month	ماه	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	دما (درجه سلسیوس) Temperature (C°)		
			حداقل (Minimum)	حداکثر (Maximum)	متوسط (Average)
22 Sep.-21 Oct.	مهر	1.3	9.6	24.3	17.0
22 Oct.-21 Nov.	آبان	8.0	0.7	16.5	8.6
22 Nov.-21 Dec.	آذر	0.1	0.5	15.2	7.9
22 Dec.-21 Jan.	دی	19.4	-6.7	5.7	-0.5
22 Jan.-21 Feb.	بهمن	31.7	-5.1	4.1	-0.5
22 Feb.-20 Mar.	اسفند	28.3	-3.1	6.3	1.6
21 Mar.-20 Apr.	فروردین	20.0	3.5	15.7	9.6
21 Apr.-20 May	اردیبهشت	52.7	6.8	19.0	12.9
21 May.-20 June	خرداد	15.5	10.3	24.0	17.1

تیمورپور (Teimoorpour, 2004) با بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مختلف گندم، بیشترین کاهش را در وزن پدانکل (۴۵ درصد) گزارش و انتقال آسیمیلات‌ها از پدانکل به دانه‌ها در شرایط تنش را عامل اصلی کاهش شدید وزن پدانکل عنوان کرد. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شد. میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش ۳/۸۳ تن در هکتار و در شرایط تنش خشکی ۲/۷۳ تن در هکتار بود. از این‌رو، تنش خشکی موجب کاهش ۲۸/۴۴ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط بدون تنش شد. وزن دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نیز به ترتیب به میزان ۲۷/۱۹، ۲۰/۳۳ و ۹/۱۴ درصد در شرایط تنش کاهش یافتند، اما تاریخ خوشه‌دهی و تاریخ رسیدگی به ترتیب با ۰/۰۵ و ۲/۲۴ درصد کمترین کاهش را نشان دادند (جدول ۴).

سانچز-بلانکو و همکاران (Sánchez-Blanco *et al.*, 2004) گزارش کردند که تنش خشکی سطح برگ و سرعت رشد آن را کاهش می‌دهد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2006) نیز عنوان کردند که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته به میزان ۲۱/۷۱ درصد شد. این محققان عنوان کردند که چون مواد غذایی به صورت محلول در آب جذب گیاه می‌شوند، از این‌رو محدودیت در منابع آبی در شرایط تنش خشکی منجر به محدودیت در منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کم کردن رشد رویشی و اتمام زود هنگام مرحله رویشی و شروع مرحله زایشی می‌شود و در نتیجه، دوره رشد، ارتفاع بوته، طول سنبله اصلی و عملکرد کاهش می‌یابد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2006) با بررسی ۸۱ رقم گندم تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی گزارش کردند که عملکرد، وزن هزار دانه و وزن دانه در سنبله نسبت به تعداد دانه در سنبله حساسیت بیشتری نسبت به تنش خشکی نشان دادند. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2008) نیز در بررسی تغییرات عملکرد دانه و واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان نسبت به تنش خشکی اظهار کردند که ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر کلیه صفات مورد بررسی نشان دادند و تنش خشکی عملکرد دانه را به میزان ۵۰ درصد کاهش داد. مزینانی و همکاران (Mazinani *et al.*, 2012) در مطالعه اثر تنش خشکی بر گونه دیپلوئید گندم *Triticum boeoticum* نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار بیشتر صفات به ویژه ارتفاع بوته، مساحت برگ و عملکرد دانه در سنبله شد، ولی بر روز تا ظهور سنبله بی‌تاثیر بود. اسلامی و همکاران (Eslami *et al.*, 2012) با بررسی تاثیر تنش خشکی در مرحله ساقه‌دهی و ظهور سنبله ۲۰ ژنوتیپ گندم، نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله در مقایسه با شرایط آبیاری تکمیلی شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات اندازه‌گیری شده تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی

Table 3. Combined analysis of variance for the studied traits under stress and non- stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)							
		ارتفاع بوته Plant height	وزن بوته Plant weight	طول پدانکل Peduncle length	وزن پدانکل Peduncle weight	تعداد دانه در سنبله Grain number per spike	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000-grain weight
محیط Environment (E)	1	5725.86*	41.84*	2239.85**	0.46**	3183.75*	11.09*	40.39*	556.83*
تکرار درون محیط Replication (E)	4	233.46	1.46	9.32	0.008	406.68	1.25	10.96	51.11
ژنوتیپ Genotype (G)	33	319.69**	0.66^{ns}	165.28**	0.021**	100.45**	0.25*	3.18**	89.49**
ژنوتیپ× محیط G × E	33	58.03^{ns}	0.61^{ns}	27.97^{ns}	0.009**	97.39**	0.21^{ns}	1.67^{ns}	36.44^{ns}
خطای آزمایشی Error	132	53.58	0.49	11.17	0.003	49.51	0.21	1.06	34.59
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		15.45	19.77	17.35	24.40	16.46	21.74	31.36	13.92

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 3. Continued

جدول ۳- ادامه

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)						
		شاخص برداشت Harvest index	میزان کلروفیل Chlorophyll content	سطح برگ پرچم Flag leaf area	طول برگ پرچم Flag leaf length	عرض برگ پرچم Flag leaf width	روز تا خوشه‌دهی Days to heading	روز تا رسیدگی Days to maturity
محیط Environment (E)	1	297.00^{ns}	160.99*	1821.80**	492.63**	2.10*	27.36^{ns}	776.65**
تکرار درون محیط Replication (E)	4	645.59	17.48	17.31	1.14	0.07	8.21	61.62
ژنوتیپ Genotype (G)	33	119.93*	283.28**	38.09**	9.16**	0.09**	30.64**	33.93**
ژنوتیپ× محیط G × E	33	115.67*	39.69^{ns}	12.35*	4.03^{ns}	0.02^{ns}	3.10^{ns}	13.43**
خطای آزمایشی Error	132	67.55	48.24	7.55	2.80	0.01	1.48	5.61
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		16.49	12.38	14.87	8.78	8.26	0.75	1.12

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- میانگین و درصد کاهش صفات در ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی

Table 4. Mean and reduction percentage of the traits in wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions

Trait	صفت	میانگین صفات Trait means		درصد کاهش Reduction (%)
		بدون تنش خشکی Non-stress	تنش خشکی Drought stress	
Plant height (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	53.85	40.87	24.10
Plant weight (g)	وزن بوته (گرم)	4.09	2.98	27.12
Peduncle length (cm)	طول پدانکل (سانتی‌متر)	23.40	15.10	35.45
Peduncle weight (g)	وزن پدانکل (گرم)	0.28	0.17	40.34
Grain number per spike	تعداد دانه در سنبله	47.58	37.91	20.33
Grain weight per spike (g)	وزن دانه در سنبله (گرم)	2.10	1.53	27.19
Thousand grain weight (g)	وزن هزار دانه (گرم)	44.27	40.22	9.14
Harvest index	شاخص برداشت	51.31	48.35	6.10
Chlorophyll content	میزان کلروفیل	57.15	54.98	3.81
Flag leaf area (cm^2)	سطح برگ پرچم (سانتی‌متر مربع)	22.14	14.82	33.05
Length of flag leaf (cm)	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	20.96	17.15	18.16
Width of flag leaf (cm)	عرض برگ پرچم (سانتی‌متر)	1.39	1.15	17.80
Days to heading	روز تا خوشه‌دهی	161.01	160.12	0.05
Days to maturity	روز تا رسیدگی	213.37	208.59	2.24
Grain yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد (تن در هکتار)	3.83	2.73	28.44

کلیه شاخص‌های تحمل به تنش به همراه میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۵ ارایه شده است. ژنوتیپ‌های ۱۳، ۲۲ و ۷ به ترتیب با عملکرد ۷/۴۴، ۵/۹۶ و ۵/۷۸ تن در هکتار بیشترین عملکرد و ژنوتیپ‌های ۱۸، ۴ و ۲۴ به ترتیب با عملکرد ۲/۲۳، ۲/۳۵ و ۲/۵۰ تن در هکتار کمترین عملکرد را تحت شرایط بدون تنش داشتند، در حالی که تحت شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب با ۴/۲۹، ۴/۲۹ و ۴/۲۶ تن در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های ۴، ۲۲ و ۳۲ به ترتیب با ۱/۲۳، ۱/۵۳ و ۱/۶۱ تن در هکتار کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

بر اساس شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HMP) و شاخص تحمل به تنش (STI) که مقادیر بالای آنها نشان دهنده تحمل به تنش است، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۷، ۱۳ و ۳ به ترتیب با عملکرد ۴/۲۹، ۴/۲۹، ۴/۲۶ و ۴/۰۵ تن در هکتار تحت شرایط تنش به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های ۴، ۳۲ و ۱۸ به ترتیب با عملکرد ۱/۲۳، ۱/۶۱ و ۱/۶۷ تن در هکتار به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش مشخص شدند. بر مبنای شاخص تحمل (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) که مقادیر کمتر آنها و شاخص پایداری عملکرد (YSI) که مقادیر بالاتر آن نشان دهنده تحمل به تنش است، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۳، ۱۴ و ۳۱ به ترتیب با عملکرد ۴/۲۹، ۴/۰۵، ۳/۸۳ و ۲/۷۴ تن در هکتار تحت شرایط تنش به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناسایی کردند و این در حالی بود که شاخص تحمل (TOL)، ژنوتیپ‌های ۲۲، ۶ و ۱۳ را به ترتیب با عملکرد ۱/۵۳، ۲/۳۳ و ۴/۲۶ تن در هکتار، شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌های ۳۰، ۲۲ و ۶ را به ترتیب با عملکرد ۱/۴۵، ۱/۵۳ و ۲/۳۳ تن در هکتار و شاخص پایداری عملکرد (YSI) ژنوتیپ‌های ۳۰، ۲۲ و ۶ را به ترتیب با عملکرد ۱/۴۵، ۱/۵۳ و ۲/۳۳ تن در هکتار به عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی معرفی کردند.

جدول ۵- شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی*

Table 5. Stress tolerance indices and grain yield of wheat genotypes under stress and non-stress conditions*

شماره ژنوتیپ No. of genotype	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	STI	YSI
1	4.760	2.450	2.310	1.407	3.605	3.415	3.235	0.738	0.515
2	3.310	2.250	1.060	0.928	2.780	2.729	2.679	0.471	0.680
3	4.200	4.050	0.150	0.104	4.125	4.124	4.124	1.077	0.964
4	2.350	1.230	1.120	1.381	1.790	1.700	1.615	0.183	0.523
5	3.900	2.250	1.650	1.226	3.075	2.962	2.854	0.555	0.577
6	5.380	2.330	3.050	1.643	3.855	3.541	3.252	0.793	0.433
7	5.780	4.290	1.490	0.747	5.035	4.980	4.925	1.569	0.742
8	2.910	1.690	1.220	1.215	2.300	2.218	2.138	0.311	0.581
9	3.450	2.240	1.210	1.017	2.845	2.780	2.716	0.489	0.649
10	3.700	3.050	0.650	0.509	3.375	3.359	3.344	0.714	0.824
11	4.330	4.290	0.040	0.027	4.310	4.310	4.310	1.176	0.991
12	3.340	2.170	1.170	1.015	2.755	2.692	2.631	0.459	0.650
13	7.440	4.260	3.180	1.239	5.850	5.630	5.418	2.006	0.573
14	4.060	3.830	0.230	0.164	3.945	3.943	3.942	0.984	0.943
15	4.520	3.310	1.210	0.776	3.915	3.868	3.822	0.947	0.732
16	5.160	3.030	2.130	1.196	4.095	3.954	3.818	0.990	0.587
17	4.860	3.860	1.000	0.596	4.360	4.331	4.303	1.187	0.794
18	2.230	1.670	0.560	0.728	1.950	1.930	1.910	0.236	0.749
19	4.780	3.530	1.250	0.758	4.155	4.108	4.061	1.068	0.738
20	2.720	2.330	0.390	0.416	2.525	2.517	2.510	0.401	0.857
21	2.970	2.210	0.760	0.742	2.590	2.562	2.534	0.415	0.744
22	5.960	1.530	4.430	2.154	3.745	3.020	2.435	0.577	0.257
23	4.720	2.380	2.340	1.437	3.550	3.352	3.164	0.711	0.504
24	2.500	2.010	0.490	0.568	2.255	2.242	2.228	0.318	0.804
25	4.560	2.190	2.370	1.506	3.375	3.160	2.959	0.632	0.480
26	3.860	2.580	1.280	0.961	3.220	3.156	3.093	0.630	0.668
27	3.680	2.660	1.020	0.803	3.170	3.129	3.088	0.620	0.723
28	3.700	1.960	1.740	1.363	2.830	2.693	2.563	0.459	0.530
29	3.690	1.900	1.790	1.406	2.795	2.648	2.508	0.444	0.515
30	3.310	1.450	1.860	1.629	2.380	2.191	2.017	0.304	0.438
31	3.010	2.740	0.270	0.260	2.875	2.872	2.869	0.522	0.910
32	2.700	1.610	1.090	1.170	2.155	2.085	2.017	0.275	0.596
33	3.820	2.840	0.980	0.744	3.330	3.294	3.258	0.687	0.743
34	3.480	2.270	1.210	1.008	2.875	2.811	2.748	0.500	0.652
Mean	3.975	2.601	1.374	0.966	3.288	3.185	3.091	0.690	0.667
$LSD_{5\%}$	2.787	1.849	2.918	1.767	1.325	1.156	1.133	0.539	0.954

*: شاخص‌ها عبارت‌اند از: Yp عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش، Ys عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، TOL شاخص تحمل، SSI شاخص حساسیت به تنش، MP میانگین بهره‌وری، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، HMP میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمل به تنش و YSI شاخص پایداری عملکرد.

*: The indices are: Yp, grain yield under non-stress condition; Ys, grain yield under drought stress condition; TOL, tolerance index; SSI, stress susceptibility index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; HMP, harmonic mean; STI, stress tolerance index and YSI, yield stability index.

تمام شاخص‌های استفاده شده در این تحقیق، ژنوتیپ‌های ۳ و ۱۱ را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی کردند، در حالی که بر اساس شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI، ژنوتیپ ۱۳ متحمل به تنش شناسایی شد و این در حالی بود که شاخص‌های TOL و SSI این ژنوتیپ را حساس به تنش نشان دادند. شاخص TOL تغییر حاصل از شرایط تنش را نشان می‌دهد و هر چه تغییرات عملکرد یک ژنوتیپ تحت شرایط تنش کمتر باشد، مقدار عددی آن نیز کوچک‌تر خواهد بود. بنابراین، پایین بودن شاخص TOL الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد تحت شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش پایین و تحت شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که این باعث کوچک ماندن TOL می‌شود (Moghaddam and Hadizadeh, 2002). شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.*, 2004) و صادق‌زاده اهری (Sadeghzadeh Ahari, 2006) در بررسی ژنوتیپ‌های گندم به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های STI، GMP و MP در گزینش ارقام نسبت به سایر شاخص‌ها موفق‌تر بودند. محققان عقیده دارند که بهترین شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شاخصی است که تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد دانه باشد (Fernandez,1992; Radmehr and Kajbaf, 1996). بنابراین با استفاده از مطالعه همبستگی بین عملکرد در شرایط آبی و دیم و شاخص‌های تحمل به تنش می‌توان شاخص‌های تحمل به تنش را ارزیابی و بهترین شاخص را انتخاب کرد.

نتایج حاصل از محاسبه میزان همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در جدول ۶ ارایه شده است. همبستگی بین عملکرد دانه تحت شرایط تنش و عملکرد تحت شرایط بدون تنش برابر با r=۰/۵۸ بود که در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. تیمورپور (Teimoorpour, 2004) و صادق‌زاده اهری (Sadeghzadeh Ahari, 2006) نیز همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تحت دو شرایط را مثبت و بسیار معنی‌دار گزارش کردند. عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI در سطح احتمال ۱٪ همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد و این در حالی بود که عملکرد تحت شرایط تنش با شاخص YSI و تحت شرایط بدون تنش با شاخص TOL نیز در سطح احتمال ۱٪ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در مقابل، عملکرد دانه تحت شرایط تنش با شاخص SSI همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد. شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.*, 2004)، صادق‌زاده اهری (Sadeghzadeh Ahari, 2006) و کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2006) نیز در بررسی ژنوتیپ‌های گندم، ضریب همبستگی بین عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش را با شاخص‌های STI، GMP و MP مثبت و بسیار معنی‌دار گزارش کردند. به طور کلی شاخص‌هایی که تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، می‌توانند به عنوان شاخص‌های مناسب معرفی شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به شناسایی و غربال ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط هستند (Fernandez, 1992). بنابراین، با توجه به نتایج ضرایب همبستگی می‌توان شاخص‌های، MP، GMP، HMP و STI را به عنوان شاخص‌های مناسب جهت دستیابی به ارقام پرمحصول تحت هر دو شرایط محیطی معرفی کرد. شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.*, 2004) و صادق‌زاده اهری (Sadeghzadeh Ahari, 2006) نیز در بررسی ژنوتیپ‌های گندم، شاخص‌های STI، GMP و MP را شاخص‌های بهتری جهت گزینش ارقام متحمل به خشکی معرفی کردند.

برای بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به تنش، تجزیه به مولفه‌های اصلی با استفاده از اطلاعات جدول ۵ (میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل ژنوتیپ‌ها) انجام شد. مقادیر ویژه و واریانس تجمعی مولفه‌های اصلی در جدول ۷ ارایه شده است. حدود ۹۹ درصد از کل تغییرات داده‌ها به وسیله دو مولفه اصلی اول توجیه شد و از این‌رو بای‌پلات بر اساس این دو مولفه رسم شد (شکل ۱). اولین مولفه اصلی ۶۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی و نیز با شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI داشت و بنابراین به عنوان مولفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری شد. با توجه به این که میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب است، بنابراین بر اساس این مولفه ارقامی انتخاب می‌شوند که ضمن دارا بودن عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، مقادیر بالاتری برای

شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI دارند و در نتیجه ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی انتخاب خواهند شد. دومین مولفه ۳۵/۸۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) و شاخص YSI و همبستگی مثبت با شاخص‌های SSI و TOL داشت و بنابراین به عنوان مولفه حساسیت به تنش نام‌گذاری شد. انتخاب بر اساس این مولفه، ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط تنش و حساس به خشکی را جدا خواهد کرد.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم

Table 6. Correlation coefficient between drought tolerance indices and grain yield of wheat genotypes

شاخص تحمل* Tolerance index*	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	STI	YSI
Yp	1.00								
Ys	0.58**	1.00							
TOL	0.66**	-0.22 ns	1.00						
SSI	0.26ns	-0.60**	0.87**	1.00					
MP	0.92**	0.86**	0.31 ns	-0.12 ns	1.00				
GMP	0.85**	0.92**	0.17 ns	-0.25 ns	0.99**	1.00			
HMP	0.78**	0.95**	0.05 ns	-0.36**	0.96**	0.99**	1.00		
STI	0.84**	0.90**	0.18 ns	-0.23 ns	0.97**	0.98**	0.98**	1.00	
YSI	-0.26 ns	0.60**	-0.87**	-1.00**	0.13 ns	0.25 ns	0.36**	0.23 ns	1.00

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

*: شاخص‌ها عبارت‌اند از: Yp عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش، Ys عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، TOL شاخص تحمل، SSI شاخص حساسیت به تنش، MP میانگین بهره‌وری، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، HMP میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمل به تنش و YSI شاخص پایداری عملکرد.

ns and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively.

*: The indices are: Yp, grain yield under non-stress condition; Ys, grain yield under drought stress condition; TOL, tolerance index; SSI, stress susceptibility index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; HMP, harmonic mean; STI, stress tolerance index and YSI, yield stability index.

جدول ۷- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش

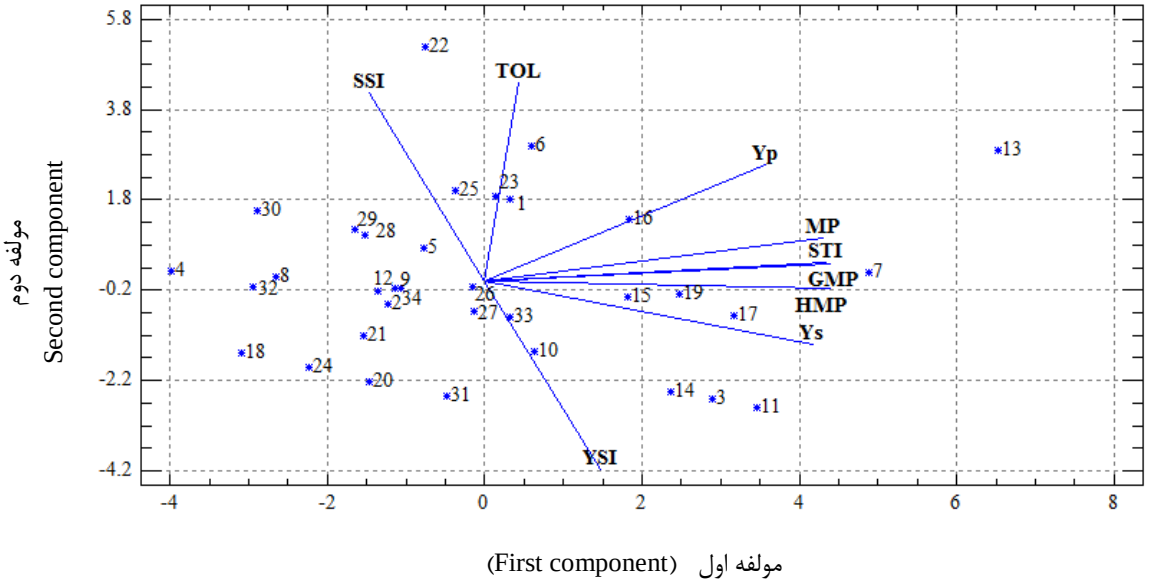
Table 7. Principal components analysis based on grain yield and drought tolerance indices

مولفه اصلی* Principal component*	EV	V	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HMP	STI	YSI
1	5.688	63.20	0.34	0.40	0.04	-0.14	0.41	0.42	0.42	0.41	0.14
2	3.227	99.06	0.32	-0.17	0.54	0.52	0.12	0.05	-0.02	0.05	-0.52

*: شاخص‌ها عبارت‌اند از: EV مقدار ویژه، V درصد واریانس تجمعی، Yp عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش، Ys عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، TOL شاخص تحمل، SSI شاخص حساسیت به تنش، MP میانگین بهره‌وری، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، HMP میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمل به تنش و YSI شاخص پایداری عملکرد.

*: The indices are: EV, eigen value; V, cumulative variance percentage; Yp, grain yield under non-stress condition; Ys, grain yield under drought stress condition; TOL, tolerance index; SSI, stress susceptibility index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; HMP, harmonic mean; STI, stress tolerance index and YSI, yield stability index.

بر اساس بای‌پلات ترسیم شده بر مبنای مولفه اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها به گروه‌هایی تقسیم شدند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل به تنش آنها بود. همان طور که مشاهده می‌شود، ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۷، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ در ناحیه‌ای با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت شاخص‌های مهم تحمل به خشکی MP، GMP، HMP، STI و YSI قرار گرفتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد بالا تحت شرایط دیم و سازگار به مناطق دارای تنش خشکی هستند. ژنوتیپ شماره ۱۳ نیز در ناحیه‌ای با پتانسیل تولید بالا و نزدیک به بردار مربوط به عملکرد در شرایط بدون تنش قرار گرفت، به این معنی که مقادیر بالای شاخص‌های تحمل برای این ژنوتیپ بیشتر به علت عملکرد بالای آن تحت شرایط بدون تنش بوده است. بنابراین، این ژنوتیپ سازگاری خوبی به شرایط بدون تنش خشکی دارد. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۸، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۳۰ و ۳۲ نیز در ناحیه‌ای با عملکرد پایین در شرایط تنش و حساسیت بالا به خشکی و در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی TOL و SSI قرار گرفتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و حساس به تنش خشکی بودند. با توجه به زوایای بین شاخص‌ها، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و بالایی با عملکرد تحت شرایط تنش و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد تحت شرایط بدون تنش دارند. شاخص‌های MP، GMP، STI و HMP با عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش همبستگی مثبت دارند و از طرف دیگر، زاویه تند بین بردارهای این چهار شاخص نشان از همبستگی بسیار بالای آنها با یکدیگر دارد. در نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌هایی که در اطراف شاخص YSI قرار گرفته‌اند ژنوتیپ‌های پایداری بودند و تغییرات کمتری در شرایط تنش نشان می‌دهند. ژنوتیپ‌های سمت راست خط شاخص YSI دارای عمکرد بالا در هر دو محیط و ژنوتیپ‌های سمت چپ دارای عملکرد پایین در هر دو محیط هستند. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011) نیز در ارزیابی ارقام گندم نان از نظر تحمل به خشکی، از تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده کردند و نشان دادند که دو مولفه اصلی اول در مجموع ۹۹/۹۵ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند که مولفه اول با شاخص‌های MP، GMP، STI و عملکرد تحت شرایط تنش خشکی (Ys) و مولفه اصلی دوم با شاخص‌های SSI، TOL و عملکرد تحت شرایط بدون تنش خشکی (Yp) همبستگی مثبت داشتند.

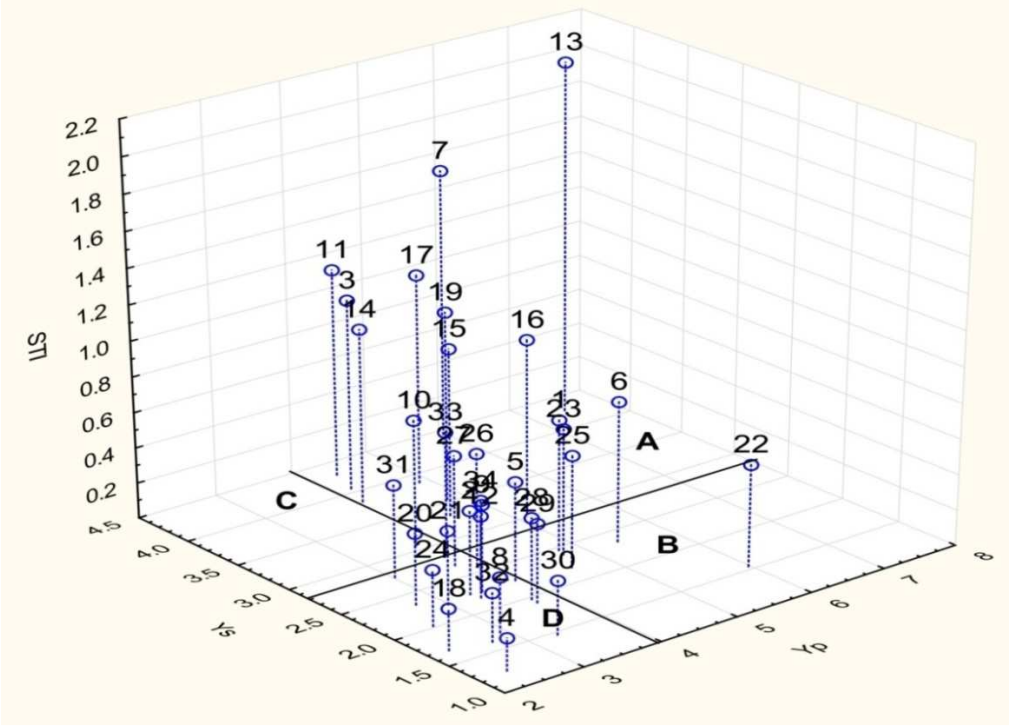


شکل ۱- نمایش بای پلات شاخص‌های مقاومت به خشکی در ۳۴ ژنوتیپ گندم نان بر اساس دو مولفه اول. اعداد داخل شکل شماره ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Figure 1. Biplot for drought resistance indices in 34 genotypes of bread wheat based on first two components. Numbers inside the Figure are genotypes number (see Table 1).

سادات صیاح و همکاران (Sadat Sayyah *et al.*, 2012) نیز در تجزیه به مولفه‌های اصلی در گندم نان نشان دادند که مولفه اول ۶۲/۸ درصد از تغییرات را توجیه کرد و با شاخص‌های MP، GMP، STI و عملکرد تحت هر دو شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) همبستگی مثبت داشت، اما مولفه دوم ۳۵/۶۴ درصد از تغییرات را توجیه کرد و با شاخص‌های SSI و TOL و عملکرد تحت شرایط بدون تنش خشکی (Yp) همبستگی مثبت و با عملکرد دانه تحت شرایط تنش (Ys) همبستگی منفی داشت. درستکار و همکاران (Dorostkar *et al.*, 2015) نیز در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی از تجزیه به مولفه‌های اصلی نتایج مشابهی به دست آوردند.

با توجه به همبستگی بالای بین شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI نمودار سه بعدی مربوط به STI با Yp و Ys ترسیم و در شکل ۲ ارایه شد. در بررسی این شکل ملاحظه شد که ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ در ناحیه A (عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۸،۲۰، ۲۱، ۲۴، ۳۰ و ۳۲ در ناحیه D (عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) قرار گرفتند. این نتایج با نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات مطابقت دارد.



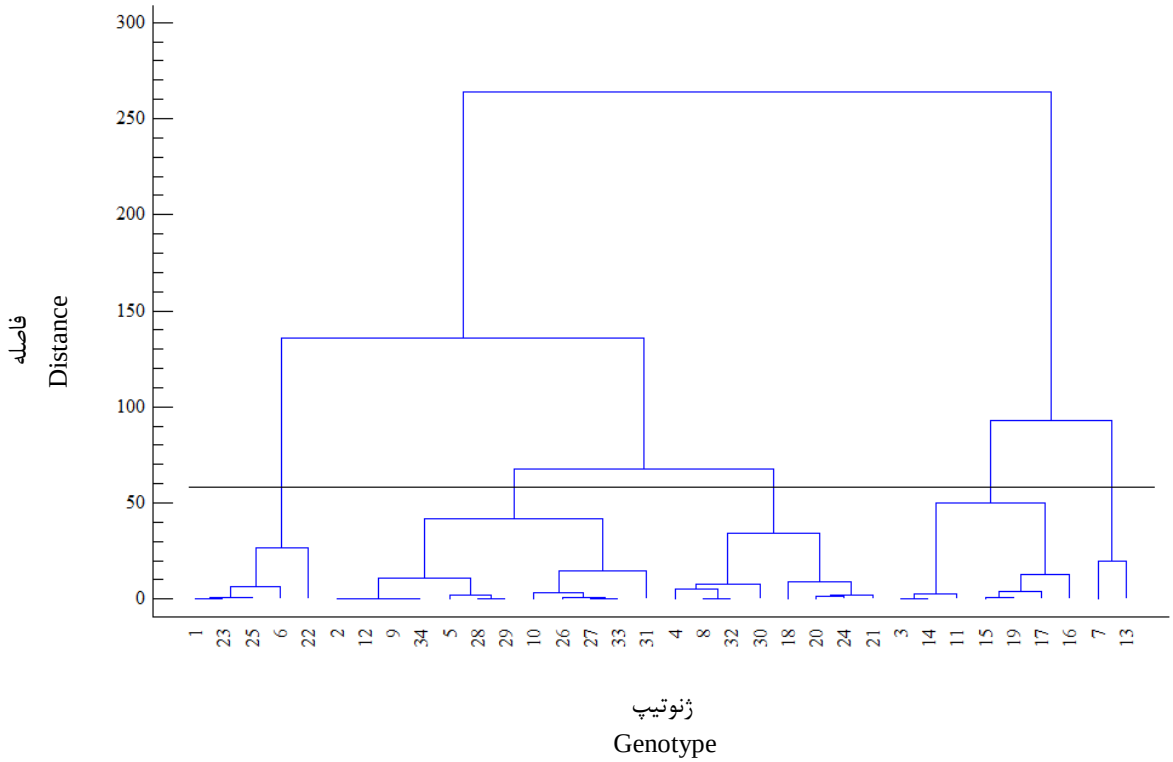
شکل ۲- گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از عملکرد دانه تحت شرایط تنش (Ys) و بدون تنش خشکی (Yp) و شاخص تحمل به تنش (STI). اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Figure 2. Selecting drought tolerant genotypes using grain yield under stress (Ys) and non-stress (Yp) conditions and stress tolerance index (STI). Numbers into the Figure are genotypes (see Table 1).

تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی به روش Ward و با فاصله مربع اقلیدسی صورت گرفت (شکل ۳). برش دندوگرام بر اساس تجزیه تابع تشخیص، ژنوتیپ‌ها را به ۵ گروه تقسیم نمود. همانطور که دیده می‌شود در گروه اول ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۳ قرار گرفته‌اند که دارای پتانسیل عملکرد بالا در محیط آبی بوده و نیمه مقاوم به تنش خشکی محسوب می‌شوند. در گروه دوم ژنوتیپ‌های ۳، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ قرار دارند که ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی می‌باشند. در گروه سوم ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۳۰ و ۳۲ قرار گرفته‌اند. در گروه چهارم ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۹، ۱۰، ۱۲، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۱، ۳۳ و ۳۴ قرار دارند. گروه پنجم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۶، ۲۲،

۲۳ و ۲۵ می‌باشد که در نمودار بای‌پلات در سمت چپ و بالا قرار گرفته‌اند و حساسیت بیشتری به تنش خشکی نسب به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای با روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات در تمایز ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی مطابقت دارد و به عنوان روش مکملی برای تایید روش‌های قبلی است.

محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2011)، سادات صیاح و همکاران (Sadat Sayyah *et al.*, 2012) و درستکار و همکاران (Dorostkar *et al.*, 2015) نیز از روش تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش استفاده کردند و ضمن گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، نشان دادند که نتایج حاصل از این روش با تجزیه به مولفه‌های اصلی مطابقت دارد. بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های ۳، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ متحمل به تنش خشکی شناخته شدند که در تجزیه خوشه‌ای یک گروه متحمل به تنش خشکی را تشکیل دادند. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۸، ۱۸، ۲۰، ۲۱، ۲۴، ۳۰ و ۳۲ نیز بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی حساس به تنش خشکی شناخته شدند که در تجزیه خوشه‌ای در یک گروه قرار گرفتند.



شکل ۳- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش Ward's. اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Figure 3. Dendrogram of cluster analysis of genotypes based on drought tolerance indices using Ward's method. Numbers inside the Figure are genotypes number (see Table 1).

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری روی بیشتر صفات مرفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام گندم مورد مطالعه داشت. با توجه به نتایج حاصل از ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد دانه، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI شناخته شدند. نتایج حاصل از تجزیه‌های مختلف نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۷، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و مناسب برای مناطق دیم و ژنوتیپ شماره ۱۳ حساس به خشکی و مناسب برای شرایط آبی بودند.

References

Ahmadi, J., Zamani, H., Moradgani, H. and Fabriki-Orang, S. 2008. Evaluation of drought tolerance and tolerance indices in bread wheat cultivars. Proceeding of 10th Iranian Crop Production and Plant Breeding Congress. August 18-20, Karaj, Iran. (In Persian).

Ardalani, S., Saeidi, M., Jalali Honarmand, S., Ghobadi, M. E. and Abdoli, M. 2015. Effect of post anthesis drought stress on some agronomic and physiological traits related to source strength in four bread wheat genotypes. **Cereal Research** 5 (1): 45-65. (In Persian).

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

Dorostkar, S., Dadkhodaie, A. and Heidari. B. 2015. Evaluation of grain yield indices in hexaploid wheat genotypes in response to drought stress. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61 (3): 397-413.

Eslami, R., Tajbakhsh, M., Ghafari, A. A., Roustaei, M. and Barnousi, I. 2011. Evaluation of drought tolerance in dry lands wheat genotypes under different moisture conditions. **Electronic Journal of Crop Production** 5 (2): 129-143. (In Persian).

Food and Agriculture Organization. 2010. Statistics. FAOSTAT agriculture. Retrieved October, 2011. From http://fao.org/crop/statistics.

Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crop to Temperature and Water Stress. August 13-18, Taiwan. pp: 257.

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

Geravandi, M., Farshadfar, E. and Kahrizi, D. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. **Seed and Plant Improvement Journal** 26 (1): 233-252. (In Persian).

Houerou, L. 1996. Climate change, drought and desertification. **Journal of Arid Environment** 34: 133-185.

Ilker, E., Tartar, O., Aykut-Tonk, F. and Tosun, M. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. **Turkish Journal of Field Crops** 16 (1): 59-63.

Koocheki, A. and Banayan-Aval, M. 1994. Yield formation in the main field crops. Jehad Daneshgahi of Mashhad Press. (In Persian).

Koocheki, A. R., Yazdansepas, A. and Nikkhah, H. R. 2005. Effects of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 8 (1): 14-29. (In Persian).

Mazinani, M. A., Moghaddam, M., Alavikia, S. S., Shakiba, M., Mehrabi, A. and Pouraboughaddareh, A. 2012. Study of genetic diversity in *T. boeoticum* populations under normal and water deficit stress conditions. **Cereal Research** 2 (1): 17-30. (In Persian).

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 and Seed Journal** 18 (3): 255-272. (In Persian).

Mohammadi, A., Majidi, E., Bihamta, M. R. and Heidari Sharifabad, H. 2006. Evaluation of drought stress on agro-morphological characteristics in some wheat cultivars. **Pajouhesh and Sazandegi** 73: 184-192. (In Persian).

Mohammadi, M., Karimzade, R. and Abdipour M. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dry land and supplemental irrigation conditions. **Australian Journal of Crop Science** 5 (4): 487-493.

Passioura, J. B. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce: From breeding to field management. **Agricultural Water Management** 80: 176-196.

Radmehr, M. Gh. A. and Kajbaf, A. R. 1996. Effect of heat stress on yield and yield component in 25 wheat genotypes. **Plant and Seed Journal** 12 (1): 13-23. (In Persian).

Rebetzke, G. J., Richards, R. A., Condon, A. G. and Farquhar, G. D. 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica** 150: 97-106.

Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. **Plant Growth Regulation** 20: 157-166.

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

Sadat Sayyah, S., Ghobadi, M., Mansoorifar, S. and Zebarjadi, A. R. 2012. Evaluation of drought tolerant in some wheat genotypes to post-anthesis drought stress. **Journal of Agricultural Science** 4 (11): 248-256.

Sadeghzade Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 8: 30-45. (In Persian).

Sánchez-Blanco, M. J., Rodriguez, P., Olmos, E., Morales, M. A. and Torrecillas, A. 2004. Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, mineral content and ultra-structural in *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants. **Journal of Environmental Quality** 33: 1369-1375.

Sarmadnia, G. H. 1993. The importance of environmental stresses in agronomy. Proceeding of First Iranian Crop Production and Plant Breeding Congress. Sep. 6-9, Karaj, Iran. pp: 157. (In Persian).

Shafazadeh, M. K., Yazdansepas, A., Amini, A. and Ghannadha, M. R. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. **Seed and Plant Improvement Journal** 20: 57-71. (In Persian).

Takeda, S. and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. **Nature Reviews Genetics** 9: 444-457.

Teimoorpour, H. 2004. Assessment of the effect of drought stress on some morphological and agronomic traits in wheat cultivars. M. Sc. Dissertation, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran. (In Persian).

Zebarjadi, A., Mirany, T., Kahrizi, D., Ghobadi, M. and Nikoseresht, R. 2012. Assessment of drought tolerance in some bread wheat genotypes using drought resistance indices. **Biharean Biologist** 6 (2): 94-98.

Zeinaly Khanghah, H., Izanloo, A., Hoseinzadeh, A. H. and Majnoon Hosieni, N. 2004. Determination of the suitable drought resistance indices in commercial soybeans varieties. **Iranian Journal of Agricultural Science** 35 (4): 875-885. (In Persian).

Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices

Morteza Kamrani[1*], Abbas Farzi[2] and Asghar Ebadi[1]

1. Assist. Prof., Dept. of Plant Production, Moghan Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 2. M. Sc. Graduate, Islamic Azad University, Ardabil branch, Ardabil, Iran

(Received: October 11, 2014- Accepted: September 14, 2015)

Abstract

To evaluate drought tolerance in rainfed wheat genotypes, an experiment was conducted with 34 genotypes of bread wheat in two conditions (drought stress and non-stress) using randomized complete block design with three replications, in 2012-2013 growing season. Combined analysis of variance over two experiment showed that drought stress significantly decreased plant height, plant weight, peduncle weight and length, grain weight per spike, grain number per spike, 1000 grain weight, grain yield, chlorophyll content and day to ripening, but there was no significant effect on the harvest index and days to heading. Under the drought condition, the genotypes 7, 11 and 13 had the highest grain yield with an average of 4.290, 4.290 and 4.260 ton.ha^{-1}, respectively, while under the irrigated condition, the genotypes 13, 22 and 7 produced the highest grain yield with an average of 7.44, 5.96 and 5.78 ton.ha^{-1}, respectively. To identify drought tolerance genotypes, drought tolerance indices such as tolerance index (TOL), stress susceptibility index (SSI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HMP), stress tolerance index (STI) and yield stability index (YSI) were used. Results showed that GMP, MP, HMP and STI indices were positively correlated with grain yield under both stress and non-stress conditions. Therefore, they can be exploited not only to screen drought tolerance but also to identify superior genotypes for both stress and non-stress field conditions. Principal component analysis using grain yield under both conditions and drought tolerance indices showed that the genotypes 3, 7, 11 and 14 were the most tolerant genotypes to drought conditions, while the genotypes 4, 8, 30 and 32 were the most sensitive genotypes.

Keywords: Bi-plot, Grain yield, Principal component analysis, Rainfed condition

[*] Corresponding author: mor.kamrani@gmail.com