

## ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

### Evaluation of Drought Stress Tolerance in Durum Wheat Genotype Using Drought Tolerance Indices

علیرضا زبرجدی<sup>۱</sup>، سمیرا توکلی شادپی<sup>۲</sup>، علیرضا اطمینان<sup>۳</sup> و رضا محمدی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات و گروه پژوهشی بیوتکنولوژی مقاومت به شوری، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه رازی کرمانشاه

۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، گروه اصلاح نباتات، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد

اسلامی، کرمانشاه، ایران.

۴- استادیار، معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سرارود، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۱۱

#### چکیده

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

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های پیشرفته گندم دوروم، تعداد ۲۰ ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی (تنش و بدون تنش) وجود داشت. بیشترین میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب متعلق به لاین‌های شماره ۱۳ (۸۰۸/۳ گرم در مترمربع) و ۱۴ (۱۱۷۷ گرم در مترمربع) بود. مطالعه همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش، بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند، که در بین آن‌ها STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته شد. در روش ترسیمی بای پلات ژنوتیپ‌ها به گروه‌های متحمل و غیر متحمل تقسیم شدند به نحوی که ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۵، ۱۴ و ۵ در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی MP, GMP و STI و ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۶، ۱۹، ۲۰ و ۱۶ در ناحیه با عملکرد پائین و حساسیت بالا به خشکی قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تابع تشخیص ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس سه شاخص STI, MP و GMP در پنج گروه قرار گرفتند. در مجموع بر مبنای شاخص‌های مقاومت به خشکی مبتنی بر عملکرد دانه، ژنوتیپ شماره ۱۴ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: گندم دوروم، شاخص‌های تحمل به خشکی، تنش خشکی، بای پلات.

## مقدمه

به‌نژادی برای تحمل به خشکی هدف اصلاحی مهم طرح‌های به‌نژادی گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است. با توجه به این که بخش زیادی از زمین‌های زیر کشت گندم ایران در معرض تنش آبی و گرما بوده و این تنش‌ها تولید غلات را در این نواحی به خصوص در مناطق مرکزی، غربی و جنوبی ایران محدود می‌کند، بنابراین بهبود تحمل به خشکی و گرما به‌عنوان هدف مهم در برنامه‌های به‌نژادی غلات این مناطق مد نظر است. گندم دوروم در محیط‌های تنش‌دار که در معرض تغییرات شدید آب و هوایی در طی فصل رشد هستند، کشت و کار می‌شود (Arzani, 2002).

کوئیزنبری (Quisenberry, 1982) مقاومت به خشکی را توانایی یک ژنوتیپ در تولید بیشتر عملکرد نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش رطوبتی یکسان تعریف کرد و این تعریف بیشتر مورد توجه به‌نژادگران گرفت. به نظر فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1987) معیار مقاومت به خشکی، وضعیت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی است. بر همین اساس فیشر و مورر (۱۹۸۷) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index: SSI) را پیشنهاد کردند. در تجزیه و تحلیل داده‌های آن‌ها معلوم شد که شاخص حساسیت مستقل از عملکرد بالقوه نیست. ارقامی که در شرایط رطوبتی مناسب و شرایط رطوبتی محدود (تنش

خشکی) عملکرد با ثبات تری داشته باشند و یا حداقل تفاوت عملکرد آن‌ها کم باشد احتمالاً تحمل بیشتری به خشکی خواهند داشت (Blum, 1988). بوسلاما و شاپاگ (Bousslama and Schapaugh, 1984) از شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index: YSI) برای شناسایی ژنوتیپ‌های سویا متحمل به خشکی استفاده نمودند. بر اساس این شاخص ارقام سویا با YSI بالاتر دارای عملکرد بهتر در هر دو شرایط محیطی هستند.

سی و سه مرده و همکاران (Sio-se Mardeh *et al.*, 2006) با ارزیابی یازده ژنوتیپ گندم نان گزارش کردند که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند. رامیرز والجو و کلی (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998) از شاخص‌های SSI و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی در گیاه لوبیا استفاده کردند و ضمن مشاهده تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها، نتیجه گرفتند که مؤثرترین روش برای اصلاح مقاومت به خشکی در لوبیای معمولی انتخاب بر مبنای مقادیر بالای GMP و مقادیر کم SSI است. اشنایدر و همکاران (Schnider *et al.*, 1997) با به‌کارگیری شاخص‌های GMP و SSI برای ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیای معمولی شاخص

ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط مزرعه و همچنین غربال لاین‌هایی پیشرفته‌ای بود که دارای تحمل به خشکی بالا هستند.

### مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو شرایط آبی و دیم در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (با مختصات طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه - عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه با ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا و بافت خاک رسی - سیلتی با ذرات کروی دانه‌ای متوسط تا درشت) در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ انجام شد. اندازه هر کرت ۳ مترمربع و هر کرت آزمایشی از پنج ردیف سه متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع تشکیل شده بود. کاشت در تاریخ ۱۳۸۸/۸/۱۹ انجام شد. آبیاری در مرحله جوانه‌زنی به منظور رسیدن به سطح سبز یکنواخت در هر دو شرایط انجام شد. در شرایط تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه آبیاری اعمال نشد در صورتی که در شرایط بدون تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دو مرحله آبیاری انجام شد. میزان بارندگی در سال زراعی حدود ۴۸۳ میلی‌متر گزارش شد. برای اندازه‌گیری عملکرد، پس از حذف اثر حاشیه‌ای (حذف نیم متر از دو انتهای هر کرت) باقیمانده محصول کرت (۲ مترمربع) برداشت و عملکرد دانه بر حسب گرم در متر

GMP را شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش معرفی کردند. کلارک و همکاران (Clark *et al.*, 1992) نیز شاخص SSI را برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی در گندم به کار بردند و از نظر این شاخص در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، تنوع زیادی مشاهده کردند. گل‌آبادی و همکاران (Golabadi *et al.*, 2006) با ارزیابی ۱۵۱ نسل F3 و F4 گندم دوروم در شرایط تنش بعد از گلدهی و بدون تنش خشکی گزارش کردند که شاخص‌های MP, GMP و STI با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و شاخص‌های SSI و TOL دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد در شرایط تنش بودند، بنابراین می‌توان برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برای مقادیر بالای شاخص‌های STI، MP و GMP و مقادیر پایین شاخص‌های SSI و TOL گزینش کرد. در مطالعه سی و سه مرده و همکاران (۲۰۰۶) ارقامی با بالاتر حدافل عملکرد را در شرایط غیر تنش و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند شاخص عملکرد (YI) ارقام را فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد.

هدف از اجرای این تحقیق شناسایی بهترین شاخص برای بررسی تحمل به خشکی

تجزیه‌های آماری از نرم‌افزارهای MSTAT-C، SPSS 16 و Minitab 15 استفاده شد.

### نتایج و بحث

نام و شجره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در دو شرایط محیطی تنش و بدون تنش نشان داد به طوری که در شرایط بدون تنش و تنش بیشترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۴ (۱۱۷۷ گرم در مترمربع) و ژنوتیپ شماره ۱۳ (۸۰۸ گرم در مترمربع) بود، در حالی که کمترین عملکرد در شرایط بدون تنش متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۸ و ۹ با مقدار ۶۷۱/۷ گرم در متر مربع و در شرایط تنش ژنوتیپ شماره ۲۰ با مقدار ۵۴۹/۲ گرم در متر مربع بود (جدول ۲). قابل ذکر است که با توجه به این که در سال اجرای آزمایش متوسط بارندگی حدود ۴۸۳ میلی‌متر بود لذا داشتن عملکردهای بالا در هر دو شرایط تا حدودی دور از انتظار نبود. از طرف دیگر سطح برداشت تقریباً کم (۲ مترمربع) نیز می‌تواند دلیل دیگری بر بالا بودن عملکردها باشد.

با توجه به این که هرچه شاخص‌های TOL و SSI کوچک‌تر باشد تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها بهتر است لذا بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۳ و ۱ انتخاب شدند. انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث انتخاب

مربع ثبت شد. شاخص‌های مختلف مقاومت به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

$$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{SI}, \quad SI = 1 - \left[ \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right]$$

(Fischer and Maurer, 1978)

$$TOL = Y_p - Y_s$$

(Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$$

(Rosielle and Hamblin, 1981)

$$GMP = \sqrt{(y_s)(Y_p)}$$

(Fernandez, 1992)

$$STI = \left( \frac{Y_p}{\bar{Y}_p} \right) \left( \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \right) \left( \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right) = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2}$$

(Fernandez, 1992)

$$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$$

(Gavuzzi et al., 1997)

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

(Bousslama and Schapaugh, 1984)

در معادله‌های فوق،  $Y_p$  و  $Y_s$  به ترتیب عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و  $\bar{Y}_p$  و  $\bar{Y}_s$  به ترتیب میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند.

تجزیه واریانس بر اساس الگوی طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر روی عملکرد دانه در هر دو شرایط و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. ضرایب همبستگی ساده، بین شاخص‌های مقاومت و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه و بر اساس تحلیل این همبستگی‌ها، مناسب‌ترین شاخص تعیین شد. برای انجام

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های استفاده شده در آزمایش

Table 1. Pedigree of genotypes used in the experiment

شماره ژنوتیپ	نام/شجره
Genotype no.	Pedigree/Name
1	MEXICALI 75
2	YAVAROS 79
3	ALTAR 84
4	STOT//ALTAR 84/ALD
5	RASCON_21/3/MQUE/ALO//FOJA
6	CPAN.6018/RAJ911.5//2*PLATA-8
7	SWAHEN-2/KIRKI-8//PROZANA-1
8	KHP/D31708//KHP/3/BOOMER-33/4/PLATA-3//CREX/ALLA
9	SOMAT-3/GREEN_22
10	CS/TH.CU//GLEN/3/GEN/4/MYNA/VUL/5/2*DON87/6/2*BUSCA_3
11	STORLOM/3/RASCON-37/TARRO-2//RASCON-37
12	AJALA-12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA-13/3/SOMAT
13	GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN-1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI-2//HUI/3/YA
14	PLATA-3//CREX/ALLA/3/SOMBRA-20/4/SILVER-14/MOEWI
15	PLATA-10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA-7/3/ALBA-D/5/AVO/H
16	MALMUK_1//LOTUS-5/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)
17	DUKEM-1//PATKA-7/YAZI_1/3/PATKA-7/YAZI-1
18	VANRRIKSE-6.2//1A-1D 2+12-5/3*WB881
19	GUANAY/3/STOT//ALTAR 84/ALD
20	Zardak

شاخص STI ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۴، ۱۱ و ۳ انتخاب شدند. انتخاب بر اساس MP, GMP و STI نتایج مشابهی داشت و در تمام حالات ژنوتیپ‌های ۱۴، ۴ و ۳ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند و سپس به منظور حصول اطمینان از بقاء عملکرد در شرایط تنش از بین ژنوتیپ‌های انتخاب شده آن‌هایی که بیشترین مقادیر عملکرد در شرایط تنش (Y<sub>s</sub>) را داشتند انتخاب شدند. بر این اساس از بین ژنوتیپ‌هایی که در مرحله اول انتخاب شدند ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۴ به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند. همان گونه که مشاهده می‌شود گزینش لاین‌های متحمل به خشکی بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و یا عملکرد به تنهایی مشکل

ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در محیط بدون تنش عملکرد و میانگین بهره‌وری پایینی دارند (Rosielle and Hambling, 1981)؛ (Fernandez, 1992)، لذا این شاخص، به تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت انتخاب گروه A محسوب شود. انتخاب بر اساس شاخص SSI نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که متحمل به تنش هستند ولی پتانسیل عملکردشان پایین است (Fernandez, 1992)؛ (Schneider *et al.*, 1997)، لذا این شاخص نیز قادر به تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند نیست. ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۴، ۷ و ۳ دارای بالاترین مقادیر شاخص‌های MP و GMP بودند. بر اساس

جدول ۲- شاخص‌های مقاومت به خشکی محاسبه شده و مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش LSD در شرایط بدون تنش و تنش

Table 2. Drought resistance indices and comparison of grain yield based on LDS method in non-stress and stress conditions

Genotype no.	$Y_S$ ( $gm^{-2}$ )	$Y_P$ ( $gm^{-2}$ )	TOL	YSI	YI	STI	SSI	GMP	MP
1	745.8	839.4	93.6	0.89	1.08	0.7	0.30	788.4	792.6
2	727.9	859.7	131.8	0.84	1.05	0.7	0.50	789.8	793.8
3	662.1	1074.0	411.9	0.61	0.96	0.8	1.40	843.1	868.0
4	765.6	1022.0	259.5	0.70	1.11	0.9	0.90	884.3	893.8
5	686.7	925.6	238.9	0.70	0.99	0.7	1.00	797.1	806.1
6	584.4	891.8	307.4	0.60	0.85	0.6	1.30	721.8	738.1
7	627.9	1070.0	441.9	0.50	0.91	0.7	1.60	818.7	848.9
8	678.4	671.7	-6.6	1.02	0.98	0.5	-0.09	673.1	675.0
9	663.1	671.7	292.7	0.69	0.96	0.7	1.10	792.5	809.5
10	738.2	956.8	218.6	0.77	1.07	0.8	0.80	839.8	847.5
11	723.1	1031.0	307.8	0.70	1.05	0.8	1.13	862.5	877.1
12	746.2	888.0	141.9	0.80	1.08	0.7	0.60	812.9	817.1
13	808.3	848.2	39.8	0.95	1.17	0.8	0.17	827.4	828.2
14	739.7	1177.0	437.0	0.63	1.07	1.0	1.40	931.9	958.2
15	701.2	945.2	244.2	0.70	1.02	0.7	0.99	813.1	823.1
16	670.8	860.8	190.0	0.77	0.90	0.6	0.80	759.5	765.8
17	613.4	885.8	272.4	0.68	0.80	0.6	1.19	739.8	749.6
18	742.4	886.0	143.6	0.80	1.07	0.7	0.62	810.7	814.2
19	570.4	853.6	283.3	0.66	0.82	0.5	1.29	666.5	712.0
20	549.2	795.5	246.4	0.68	0.79	0.5	1.19	660.3	672.3
LSD (5%)	76.30	101.4	145.5	0.147	0.116	0.090	0.577	57.70	52.49

$Y_S$ : Yield in stress condition;  $Y_P$ : Yield in non-stress condition; TOL: Tolerance index; YSI: Yield Stability Index; YI: Yield Index; STI: Stress Tolerance Index; SSI: Stress Susceptibility Index; GMP: Geometric Mean Productivity; MP: Mean Productivity.

For Genotypes name see Table 1.

با یافته‌های محققین دیگر از جمله کاکایی و همکاران (Kakaei *et al.*, 2011) در کلزا، سوری و همکاران (Sori *et al.*, 2005) در نخود، آقایی سربرزه و همکاران (Aghae Sarbarzeh *et al.*, 2009) در گندم، گراوندی و همکاران (Garavandi *et al.*, 2010) در گندم، فلاحی و همکاران (Falahi *et al.*, 2011) در گندم دوروم و ویسی مالامیری و همکاران (Waysi Malamiri *et al.*, 2010) در جو مطابقت دارد.

بوده و حتی گاهی نتایج ضد و نقیضی به دنبال دارد. لذا به منظور تعیین بهترین شاخص (ها)، همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش ( $Y_S$ ) و بدون تنش ( $Y_P$ ) با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۳). با توجه به همبستگی بالا و معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های تحمل به خشکی، شاخص‌های  $GMP$ ،  $STI$  و  $MP$  به عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند که قادرند ژنوتیپ‌های متحمل را از سایر ژنوتیپ‌ها غربال کنند. این نتیجه

جدول ۳- ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش

Table 3. Correlation coefficients between drought resistance indices and grain yield in non-stress (Yp) and stress (Ys) conditions

	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	YI	YSI
Ys	1.000	-0.404 <sup>ns</sup>	-0.552*	0.634**	0.724**	0.699**	1.000**	0.553*
Yp	0.186 <sup>ns</sup>	0.824**	0.699**	0.878**	0.807**	0.831**	0.189 <sup>ns</sup>	-0.696**

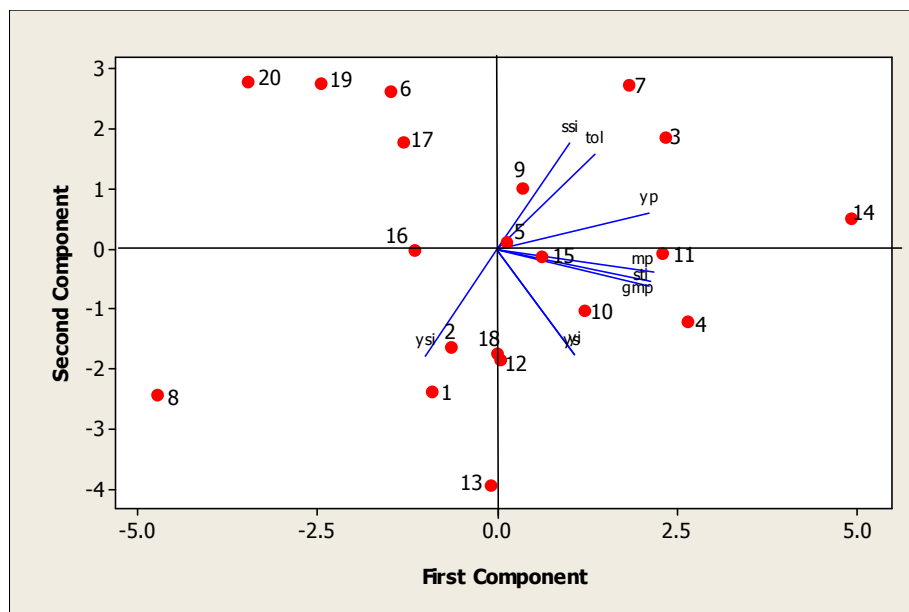
ns و \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, \*, and \*\*: Not significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

For abbreviations see Table 2.

درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های MP, GMP و STI و همبستگی مثبت با شاخص‌های TOL و SSI دارد. بنابراین مؤلفه دوم را می‌توان به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط تنش را جدا می‌کند نام گذاری کرد. بر اساس بای پلات ترسیم شده بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها به گروه‌هایی تقسیم شدند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها بود. این شکل نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۱۴ در ناحیه‌ای با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی MP, GMP و STI قرار دارند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۶، ۱۹، ۲۰ و ۱۶ 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 گرفته‌اند. در واقع می‌توان گفت که این ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری خصوصی به

برای مطالعه روابط بین شاخص‌ها از ترسیم گرافیکی بای پلات استفاده شد. بای پلات گابریل (Gabriel, 1971) ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات و ارزیابی ساختار یک ماتریس دو طرفه است. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس داده‌های حاصل از ۲۰ ژنوتیپ و شاخص‌های مقاومت، سهم مؤلفه‌ها و سهم تجمعی آن‌ها محاسبه شد. حدود ۹۹/۵ درصد کل تغییرات داده‌ها به وسیله دو مؤلفه اصلی اول بیان شد لذا بر اساس دو مؤلفه اول بای پلات ترسیم شد (شکل ۱). در این بررسی اولین مؤلفه اصلی ۵۸/۶۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی را با عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و نیز با شاخص‌های MP, GMP و STI داشت. با توجه به این که میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب است، اگر میزان مؤلفه اول بالا باشد، ارقامی انتخاب می‌شوند که دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و GMP، MP و STI بالایی هستند. بنابراین مؤلفه اول را می‌توان به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نام گذاری کرد. دومین مؤلفه ۴۰/۹۱



شکل ۱- نمایش بای‌پلات شاخص‌های مقاومت به خشکی در بیست ژنوتیپ گندم دوروم بر اساس دو مؤلفه اول

Fig. 1. Biplot for drought resistance indices in 20 genotypes of durum wheat based on first two components

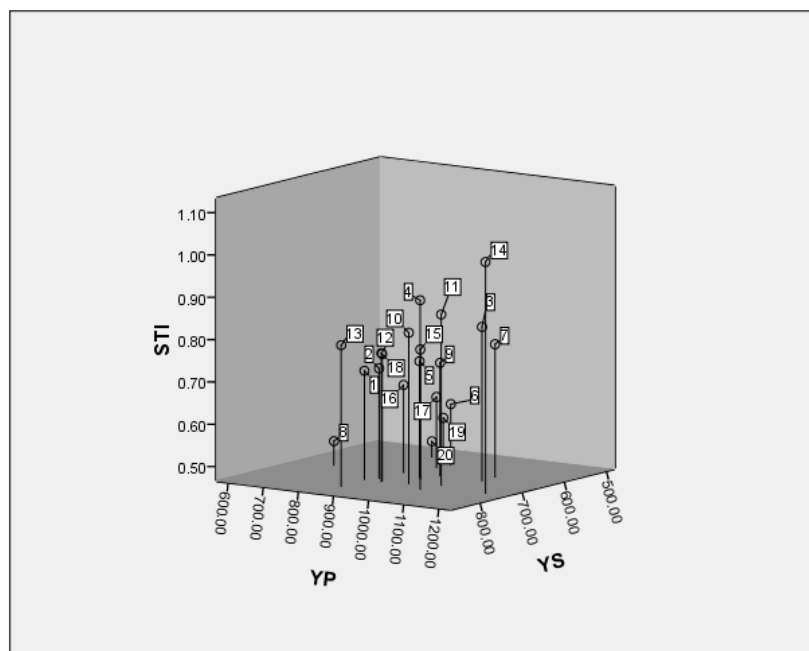
اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Numbers inside the figure are genotypes no. (see Table 1).

شاخص STI در مقابل عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داده شده است لذا ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۱۱، ۴، ۱۰ و ۱۸ به عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط (تنش و بدون تنش) و داشتن STI بالا، در گروه A فرناندز قرار گرفته و متحمل به خشکی بودند. نتایج به دست آمده از نمودارهای سه بعدی Yp و Ys با MP و GMP نیز مشابه با شاخص STI بود. لذا بر اساس این یافته‌ها می‌توان پیشنهاد داد که شاخص‌های MP، GMP و STI برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل مفید هستند. استفاده از نمودار سه بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها توسط فرناندز (Fernandez, 1992) در لوبیا، سوری و

محیط‌های آبی هستند. با توجه به زوایای بین بردارهای شاخص‌ها ملاحظه می‌شود که شاخص‌های SSI و TOL همبستگی منفی و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت و بالا با عملکرد در شرایط بدون تنش دارد. شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد در هر دو محیط همبستگی مثبت دارند و همچنین زاویه تند بین بردارهای این سه شاخص نشان از همبستگی بسیار بالا آن‌ها با هم دارد. نتایج این نمودار (شکل ۱) با نتایج حاصله از نمودار سه بعدی (شکل ۲) مطابقت داشت. با استفاده از مقادیر شاخص‌هایی که همبستگی بالا با عملکرد در هر دو شرایط داشتند نمودار سه بعدی رسم شد (شکل ۲). در این نمودار





شکل ۲- گزینش ژنوتیپ‌های تحمل کننده تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI)

Fig. 2. Slection of drought tolerant genotypes using stress tolerance index (STI).

Ys: Yield in stress condition

عملکرد در شرایط تنش

Yp: Yield in non-stress condition

عملکرد در شرایط بدون تنش

STI: Stress tolerance index

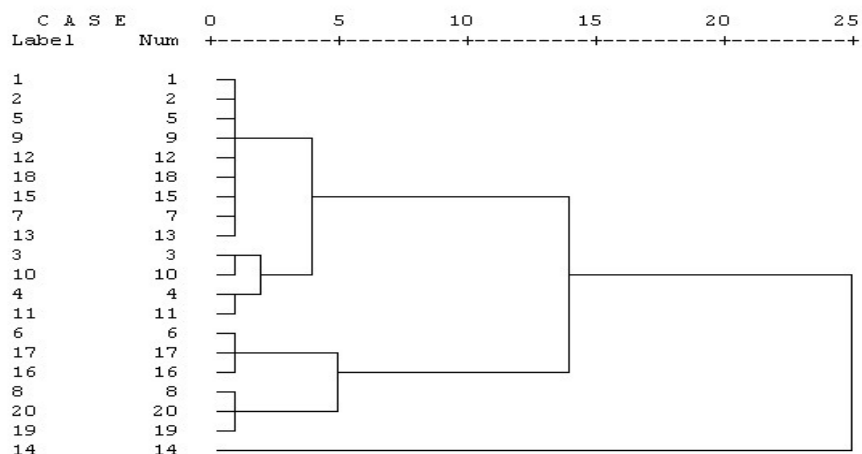
شاخص تحمل به تنش

اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Numbers inside the figure are genotypes no. (see Table 1).

ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۵، ۹، ۱۲، ۱۸، ۱۵، ۷ و ۱۳ در کلاستر اول و ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱۰، ۴ و ۱۱ در کلاستر دوم، ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۶ و ۱۷ در کلاستر سوم و ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۹ و ۲۰ در کلاستر چهارم و ژنوتیپ شماره ۱۴ در کلاستر پنجم، قرار گرفتند. بر اساس این تجزیه، ژنوتیپ شماره ۱۴ با توجه به این که دارای بالاترین مقادیر برای شاخص‌های فوق‌الذکر بود به تنهایی در یک گروه قرار گرفت. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱۰، ۴ و ۱۱ که بعد از ژنوتیپ شماره ۱۴ تحمل بیشتری نسبت

همکاران (Sori *et al.*, 2005) در نخود و کاکایی و همکاران (Kakaei *et al.*, 2011) در کلزا گزارش شده است. به منظور بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) از تجزیه خوشه‌ای (به روش UPGMA) استفاده و تعداد کلاسترها با استفاده از تابع تشخیص برابر ۵ عدد تعیین شد. نمودار درختی آن در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود



شکل ۳- دندوگرام حاصل از تجزیه خوشه ای ژنوتیپ‌های گندم دوروم بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI با استفاده از روش UPGMA

Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis of genotypes of durum wheat based on MP, GMP and STI indices using UPGMA method

اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Numbers inside the figure are genotypes no. (see Table 1).

ترسیمی سه بعدی و روش بای‌پلات برای گزینش لاین‌هایی با عملکرد بالا و مقاوم به خشکی با استفاده از شاخص‌ها در توافق با یک‌دیگر بود. نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای نیز تنوع قابل توجهی را بین ژنوتیپ‌ها نشان داد. در مجموع بر اساس نتایج این پژوهش ژنوتیپ شماره ۱۴ به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به خشکی در شرایط استان شناسایی شد.

به خشکی از خود نشان دادند در یک گروه قرار گرفتند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یک‌دیگر و با عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند و می‌توان از آن‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده کرد. ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۴ متحمل به خشکی و عملکرد بالا در دو شرایط محیطی بودند. نتایج به دست آمده از روش

## References

- Aghaee Sarbarzeh, M., Rostaee, M., Mohammadi, R., Haghparast, R., and Rajabi, R. 2009. Determination of drought tolerant genotypes in bread wheat. Electronic Journal of Crop Production 2 (1): 1-23 (in Persian).

- Arzani, A. 2002.** Grain yield performance of durum wheat germplasm under Iranian dryland and irrigated field conditions. *Journal of Breeding and Genetics* 34: 9–18.
- Blum, A. 1988.** *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Bousslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
- Clark, J. M., Depuuw. R. M., and Townley-Smith, T.F. 1992.** Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science* 32:723-728.
- Fallahi, H. A., Alte-Jafarbai, J., and Seyedi, F. 2011.** Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal* 27-1: 15-22 (in Persian).
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.). *Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water stress*, AVRDC, Shanhua, Taiwan.
- Fischer, R., and Maurer, R. 1987.** Drought resistant in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 895-97.
- Gabriel, K. R. 1971.** The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- Garavandi, 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).
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciaroli, 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.
- 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.
- Kakaei, M., Zebarjadi, A. R., Mostafaie, A., and Rezaeizad, A. 2011.** Determination of drought tolerant genotypes in *Brassica napus* L. based on drought tolerance indices. *Electronic Journal of Crop Production* 3: 107-124 (in Persian).

- Quisenberry, J. E. 1982.** Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. pp. 193-212. In: Christiansen, M. N. and Lewis, C. P. (eds.), Breeding Plants for Less Favorable Environments. Wiley Intersciences, New York, USA.
- Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1998.** Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, I. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 43-46.
- Schnider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37: 43-50.
- Sio-se Mardeh , A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222-229.
- Sori, J., Dehghani, H., and Sabaghpor, S.H. 2005.** Study of genotypes of chickpea in water stress condition. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 6: 1517-1527 (in Persian).
- Waysi Malamiri, E., Haghparast, R., Aghaee Sarbarzeh, M., Farshadfar, E., and Rajabi, R. 2010.** Evaluation of drought tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using physiological characteristics and drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal* 26-1: 43-60 (in Persian).