دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارتباط بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و روش استفاده از آنها در برنامه‌های غربالگری گندم

سعید یاراحمدی[1]، قربانعلی نعمت‌زاده[2]، حسین صبوری[3] و حمید نجفی زرینی[4]

1- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: Yarahmadi61@gmail.com)
2 و 4- استاد و دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
3- دانشیار، دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: 96/10/7 تاریخ پذیرش: 97/5/16
صفحه: 29 تا 41

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی و پی بردن به روابط بین آنها و به‌کارگیری آنها در برنامه‌های غربال‌گری گندم بود. به‌منظور غربالگری صحیح ژنوتیپ‌ها از تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای پلات و قرار دادن ژنوتیپ‌ها در بای پلات براساس امتیاز فاکتورها استفاده شد. ژنوتیپ‌های انتخابی می‌بایست در شرایط تنش و همچنین در شرایط رطوبتی مطلوب، عملکرد بالا و پایداری داشته باشند. آزمایشی با استفاده از طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی با استفاده از 132 ژنوتیپ گندم نان در مزرعه پژوهشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس در سال زراعی 95-1394 اجرا گردید. بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Y_P) و تنش (Y_S) شاخص‌های تحمل خشکی از قبیل شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هارمونیک (HM)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص حساسیت به خشکی (SDI)، شاخص خشکی نسبی (RDI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص مقاومت به خشکی (DRI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) محاسبه شدند. شاخص‌های تحمل STI، GMP، HM، MP و YI همبستگی مثبت و بسیار بزرگی با عملکرد در شرایط نرمال و همچنین با عملکرد در شرایط تنش داشتند. بنابراین ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای این شاخص‌ها، عملکرد بالایی در شرایط تنش و عدم تنش داشتند. شاخص‌های TOL، SSPI، DSI و SSI ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط نرمال ولی حساس به تنش (گروه B فرناندز) را شناسایی کردند. همچنین شاخص‌های YSIو RDI ژنوتیپ‌های با عملکردی بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و عملکردی پایین تر از میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب (گروه C فرناندز) را از سایر ژنوتیپ‌ها به خوبی تفکیک کردند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تنش خشکی، گندم، مولفه‌های اصلی.

مقدمه

گندم با شرایط بسیار متنوع آب و هوایی سازگار است و به‌همین دلیل در سراسر جهان و در سطح وسیع‌تری نسبت به سایر محصولات کشت می‌شود (28،23). گندم سومین محصول زراعی مهم دنیا پس از برنج و ذرت است. یک پنجم کل کالری جمعیت جهان از گندم تامین می‌شود و به‌همین دلیل نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی جهان دارد. خشکی به‌صورت کاهش عملکرد در نتیجه کمبود آب در زمان رشد و در منطقه ریشه گیاهان تعریف می‌شود (18،25). بنابراین تحمل خشکی به صورت توانایی گیاهان برای زنده ماندن و تولید تحت شرایط کمبود آب تعریف می‌شود (12). در میان همه فاکتورهای محدودکننده رشد گیاهان، خشکی مهمترین فاکتور محدود کننده امنیت غذایی و تولید پایدار محصولات کشاورزی است (28).

فرناندز (8) بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و فاقد تنش آنها را به چهار گروه تقسیم‌بندی کرد (شکل 2):

گروه A شامل ژنوتیپ‌هایی است که در هر دو محیط دارای تنش و فاقد تنش عملکرد بالایی دارند. گروه B شامل ژنوتیپ‌هایی است که فقط در محیط بدون تنش برتر بوده و در محیط تنش جزء ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین هستند. گروه C شامل ژنوتیپ‌هایی است که فقط در محیط تنش عملکردی بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌ها دارند و در شرایط بدون تنش عملکردی پایین‌تر از میانگین ژنوتیپ‌ها دارند. گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و عدم تنش می‌باشد (2). فرناندز اظهار داشت که مناسب‌ترین شاخص برای انتخاب، شاخصی است که توانایی تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها را داشته باشد. فرناندز (8) همچنین عنوان کرد شاخص‌هایی که در دو شرایط تنش و عدم تنش همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشته باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند.

ایلیاس خوخار و همکاران (16) نشان دادند که براساس تجزیه مولفه‌های اصلی، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، میانگین عملکرد (MP) و شاخص تحمل تنش (STI) برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، بهترین پارامترها می‌باشند. ایلیاس خوخار (16) و همچنین ساعد موچشی و همکاران (30) بیان کردند که انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش با استفاده از چهار شاخص GMP، MP، STI و YI انجام گیرد. جعفری و همکاران (17) گزارش کردند که STI، GMP و HM همبستگی بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش نشان دادند و بنابراین می‌توان به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در برنامه‌های اصلاح ذرت و به‌منظور معرفی هیبریدهای متحمل به خشکی از آنها استفاده کرد. مقدم و هادی‌زاده (21) اظهار داشتند که شاخص STI برای انتخاب کولتیوارهای مطلوب ذرت در هر دو شرایط تنش و غیرتنش بسیار مناسب است. آنها همچنین گزارش کردند که این شاخص توانایی تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها را دارد. سی‌وسه‌مرده و همکاران (31) و همچنین اورکی و همکاران (26) گزارش کردند که به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی و همچنین انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط تنش و غیر تنش می‌توان از مقادیر عددی

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

بزرگ شاخص‌های MP و GMP و STI استفاده کرد. فیروزی و همکاران (9) بیان کردند که شاخص‌های MP و STI همبستگی معنی داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و نرمال دارند.

این مطالعه با هدف شناسایی روابط بین شاخص‌ها و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی و همچنین انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها برای برنامه‌های اصلاحی آینده انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد 132 ژنوتیپ شامل 62 رقم ایرانی و خارجی و 70 لاین پیشرفته انتخاب شده از خزانه‌های اصلاحی مختلف در قالب طرح آلفا لاتیس در دو تکرار و در دو شرایط دیم و آبیاری کامل در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس ارزیابی شدند (جدول 2). بذرها از موسسه تحقیقات دیم کشور و موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیدند. دو رقم شاهد محلی به نام گنبد (رقم آبی) و کوهدشت (رقم دیم) در میان ژنوتیپ‌های انتخابی وجود داشت. واریته‌ها توسط نرم‌افزار GENDEX در دو تکرار در ردیف‌ها و ستون‌ها قرار گرفتند. هر واریته در چهار خط به طول 1 متر و فاصله خطوط 0/2 متر کشت شد. هر کرت براساس میزان بذر 140 کیلوگرم در هکتار کشت گردید. عملیات کاشت برای هر دو محیط (تنش خشکی و بدون تنش) یکسان و به‌صورت دستی انجام شد. تیمار آبیاری به‌صورت آبیاری در مراحل ساقه‌رویی، گلدهی و پر شدن دانه انجام گرفت. تیمار خشکی هیچ آبی به‌جز بارندگی دریافت نکرد. شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از رابطه‌های ارائه شده در جدول 1 محاسبه شدند. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9/2 انجام شد. ضریب همبستگی بین شاخص‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه 16 محاسبه شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT انجام شد.

جدول 1- شاخص‌های تحمل به تنش مورد مطالعه در این تحقیق

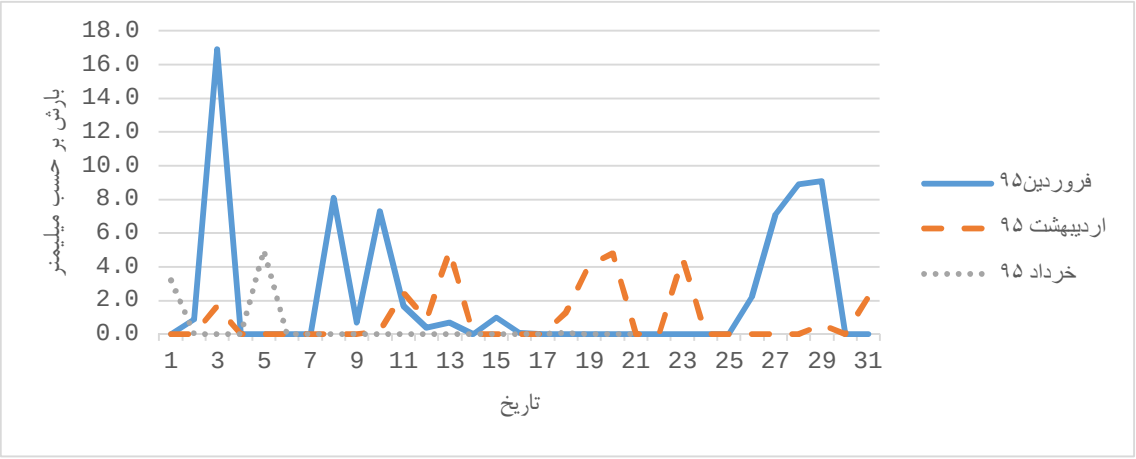
Table 1. Stress tolerance indices studied in this research

شاخص‌های تحمل به خشکی	رابطه	منبع
شاخص حساسیت به تنش[1]	$SSI = \frac{1-(\frac{Y_s}{Y_p})}{1-(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p})}$	فیشر و مورر، 1978
شاخص تحمل تنش[2]	$STI = \frac{(Y_s).(Y_P)}{(\bar{Y}p)^2}$	فرناندز،1992
شاخص تحمل[3]	$TOL = Y_p - Y_s$	روزیل و هامبلین، 1981
میانگین تولید	$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$	روزیل و هامبلین، 1981
میانگین هندسی عملکرد[4]	$GMP = \sqrt{(Y_p)(Y_s)}$	فرناندز،1992
میانگین هارمونیک[5]	$HM = \frac{2(Y_s)(Y_p)}{(Y_s + Y_p)}$	
شاخص پایداری عملکرد[6]	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	بوسلاما و چاپوق، 1984
شاخص عملکرد[7]	$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$	گاووززی و همکاران، 1997
شاخص حساسیت به خشکی[8]	$SDI = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p}$	فرشادفر و جوادی نیا، 2011
شاخص خشکی نسبی[9]	$RDI = \frac{\frac{Y_s}{Y_P}}{\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}}$	فیشر و ود، 1979
شاخص درصد حساسیت به تنش[10]	$SSPI = \left[\frac{Y_p - Y_s}{2\bar{Y}_p}\right] \times 100$	موسوی و همکاران، 2008
شاخص مقاوت به خشکی[11]	$DRI = \frac{Y_s \times (Y_s \times Y_p)}{\bar{Y}_s}$	لان، 1998

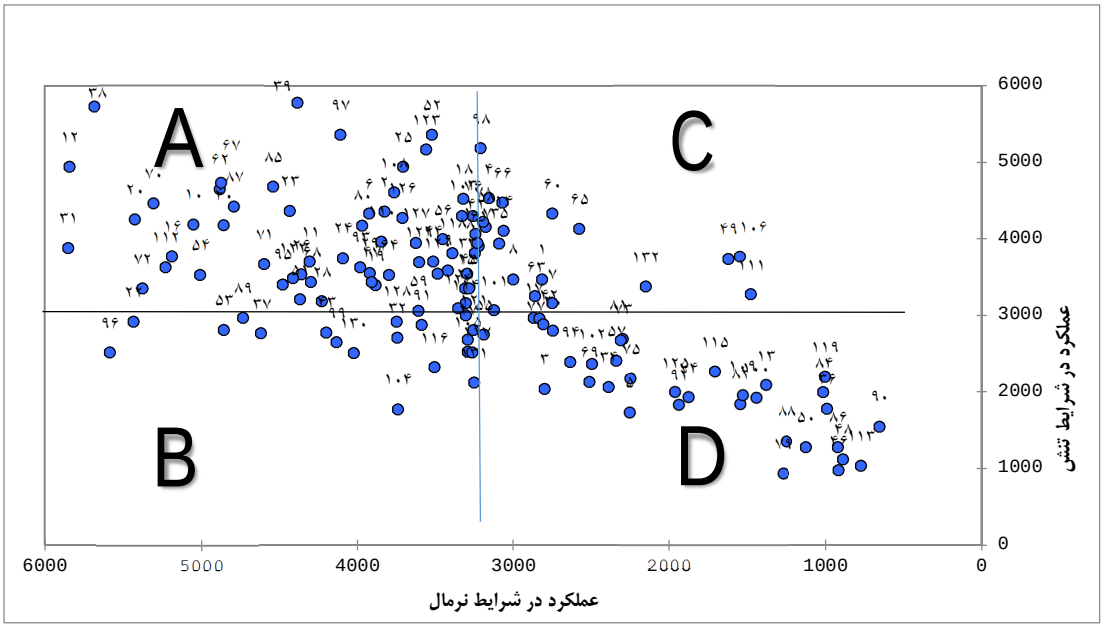
Y_s: عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش، Y_p: عملکرد هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، $\bar{Y}_s$: میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، $\bar{Y}_p$: میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش

1- Stress susceptibility index
2- Stress tolerance index
3- Tolerance index
4- Geometric mean productivity
5- Harmonic mean
6- Yield stability index
7- Yield index
8- Sensitivity drought index
9- Relative drought index
10- Stress susceptibility percentage index
11- Drought resistance index

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]



شکل 1- میزان بارندگی انتهای فصل رشد بر حسب میلی‌متر
Figure 1. Rainfall at the end of the growing season in millimeters



شکل 2- پلات پراکندگی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد در شرایط تنش خشکی (Y_S) در مقابل عملکرد درشرایط نرمال (Y_P)
Figure 2. Scatter plot of genotypes based on yield under drought stress vs yield under normal conditions

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

جدول 2- نام و شجره ژنوتیپ‌های بکارگرفته شده در این آزمایش

Table 2. The name and pedigree of the genotypes used in this experiment

کد	ژنوتیپ	شجره	کد	ژنوتیپ	شجره
1	نیک نژاد		37	6127	QUAIU #1/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA
2	6070	KA/NAC//TRCH/4/TC870334/GUI//TEMPORALERA M 8…	38	آفتاب	
3	هیرمند		39	6156	PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/SOKOLL/WBLL1/4/…
4	6109	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/…	40	قابوس	
5	مارون		41	6041	PASTOR/HEILO//HEILO/3/2*PICAFLOR#2
6	6203	ROLF07/YANAC//TACUPETO F2001/BRAMBLING*2/5/…	42	دریا	
7	آرتا		43	6088	GRACKLE#1/4/SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU
8	6165	WAXWING*2/KRONSTAD F2004/3/TRCH/SRTU//KACHU	44	پیشتاز	
9	مغان3		45	6182	ROLF07/YANAC//TACUPETO F2001/BRAMBLING/6/…
10	6250	PBW343*2/KUKUNA//JUCHI/3/ATTILA*2/PBW65//…	46	بم	
11	گهر		47	6230	KS82W418/SPN/3/CHEN/AE.SQ//2*OPATA/4/FRET2/…
12	6031	ATTILA*2/PBW65/5/PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/….	48	کویر	
13	گلستان		49	6107	YUNMAI 48/4/2*SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/…
14	6097	SHA7//PRL/VEE#6/3/FASAN/4/HAAS8446/2*FASAN/…	50	قدس	
15	اینیا		51	6235	MERCATO/4/FRAME//MILAN/KAUZ/3/PASTOR/5/…
16	6055	PASTOR/KAUZ/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/…	52	شوش	
17	ناز		53	6150	SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/5/CNO79//….
18	6152	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/…	54	6168	BECARD/4/PBW343*2/KUKUNA//PARUS/3/PBW343*2/…
19	زاگرس		55	فلات	
20	6158	MUNAL #1/3/TRCH/SRTU//KACHU	56	6162	FRANCOLIN #1/8/PBW343*2/KUKUNA/6/PVN//…
21	کوهدشت		57	اترک	
22	6163	BABAX/LR42//BABAX*2/3/PAVON 7S3, +LR47/4/…	58	6202	KIRITATI/2*WBLL1/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/3/…
23	لاین 17		59	پاستور	
24	6112	DANPHE/3/ROLFO7/YANAC//TACUPETO F2001/…	60	6208	TRCH/5/BAV92//IRENA/KAUZ/3/HUITES/4/DOLL/6/…
25	لاین A		61	شیرودی	
26	6161	BAJ #1/7/WAXWING/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/…	62	6026	PANDORA/PRL
27	دز		63	تجن	
28	البرز		64	6050	WBLL1*2/BRAMBLING//SAAR/2*WAXWING/4/…
29	6046	PAURAQUE#1/3/pbw343*2/kukuna//pbw343*2/…	65	مروارید	
30	کریم		66	6011	NELOKI//KIRITATI/2*TRCH
31	6216	MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN/4/TRCH/SRTU//…	67	گنبد	
32	رسول		68	6051	CHIBA//PRLII/CM65531/3/SKAUZ/BAV92*2/4/…
33	6210	WAXWING*2/KRONSTAD F2004*2/8/NG8201/KAUZ/4/…	69	N-80-19	
34	خزر1		70	6131	MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN/6/YAR/…
35	6122	DANPHE/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA	71	بهاران	
36	روشن		72	6201	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/TILHI/5/BAV92/3/PRL/…

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

ادامه جدول 2- نام و شجره ژنوتیپ‌های بکارگرفته شده در این آزمایش

Continuous the Table 2. The name and pedigree of the genotypes used in this experiment

کد	ژنوتیپ	شجره	کد	ژنوتیپ	شجره
73	سپاهان		104	چمران2	
74	6003	KINGBIRD #1	105	6115	PICAFLOR #1/5/FRET2/KUKUNA//FRET2/3/YANAC/4/…
75	سیوند		106	نیشابور	
76	6124	PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA/6/WBLL1*2/…	107	6164	SUP152/3/INQLAB 91*2/TURKURU//WHEAR
77	پارسی		108	UR-92-13	
78	6169	OTUS//PRL/2*PASTOR/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/…	109	سیستان	
79	شیراز		110	6234	QUAIU//KIRITATI/2*TRCH
80	6071	NS-732/HER/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/5/…	111	افق	
81	تایگر		112	6038	ELVIRA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI75/3/AE.SQ/4/…
82	آزادی		113	ارگ	
83	6171	INQALAB 91*2/KUKUNA//PFAU/WEAVER/3/…	114	6077	MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92/4/BAVIS
84	مرودشت		115	نارین	
85	6075	MON/IMU//ALD/PVN/3/BORL95/4/OASIS/2*BORL95/…	116	6047	FRNCLN*2/BECARD
86	کرج 1		117	ناتاشا	
87	6004	MUTUS*2/HARIL #1	118	6105	TRCH/SRTU//KACHU/3/KINGBIRD #1
88	کرج 2		119	هامون	
89	6089	MUNAL #1/11/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO/…	120	6052	ATTILA/3*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//…
90	کرج 3		121	افلاک	
91	6113	NG8201/KAUZ/4/SHA7//PRL/VEE#6/3/FASAN/5/…	122	6159	KACHU/3/WHEAR//2*PRL/2*PASTOR
92	Ns		123	مهرگان	
93	6179	KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/SAUAL/5/…	124	6170	PFAU/SERI.1B//AMAD/3/INQALAB 91*2/KUKUNA/4/…
94	بهار		125	مغان 2	
95	6114	CHWINK/3/ROLF07/YANAC//TACUPETO F2001/…	126	6001	PBW343
96	چمران		127	لاین 7	
97	6237	BABAX/LR42//BABAX/3/ER2000/11/CROC_1/…	128	UR-92-15	
98	سیروان		129	لاین 16	
99	6016	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/…	130	6002	CACUKE #1
100	مهدوی		131	AR-92	
101	6149	CHONTE/KINGBIRD #1/5/WBLL1*2/VIVITSI/4/…	132	UR-92-18	
102	داراب 2				
103	6172	WAXWING/7/TNMU/6/CEP80111/CEP81165/5/IAC5/4/…			

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری در هر دو شرایط تنش و عدم تنش وجود دارد (جدول 3). بین عملکرد در شرایط تنش و نرمال همبستگی مثبت و معنی‌داری (0/623) مشاهده شد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط نرمال، همچنین عملکرد بالایی در شرایط تنش خشکی داشته باشند به استثنا اندکی از ژنوتیپ‌ها که فوق حساس به تنش می‌باشند و عملکردشان در شرایط تنش بسیار کاهش می یابد و یا ژنوتیپ‌هایی که بسیار سازگار به خشکی هستند و در شرایط تنش عملکردی بالاتر از میانگین ژنوتیپ‌ها دارند. عملکرد در شرایط تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های انتخاب YI، GMP، HM، MP، STI، DRI، TOL و SSPI نشان داد که به ترتیب میزان همبستگی این شاخص‌ها 1، 0/888، 0/887، 0/887، 0/872، 0/767، 0/290 و 0/290 بود. همچنین عملکرد در شرایط نرمال با شاخص‌های تحمل MP، GMP، HM، STI، SSI، YSI، DSI، RDI، SSPI و TOL به ترتیب دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار 0/917، 0/914، 0/909، 0/890، 0/612، 0/612، 0/612، 0/612، 0/562 و 0/562 بود (جدول 4) که با نتایج مطالعات مجیدی و همکاران (20) و هاشم زهی و همکاران (14) و حاتمی ملکی و همکاران (15) شباهت بالایی داشت. شاخص‌های تحمل STI، GMP، HM، MP و YI همبستگی مثبت و بسیار بزرگی با عملکرد در شرایط نرمال و همچنین با عملکرد در شرایط تنش داشتند. بنابراین این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط و تفکیک گروه A فرناندز بسیار کارامد خواهند بود (32،31،26،21،20،17،16،۱). برای تایید بیشتر نتایج و غربالگری ژنوتیپ‌ها با استفاده از اطلاعات چند شاخص به جای یک شاخص از تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای‌پلات استفاده گردید.

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی، شاخص‌های تحمل به دو مولفه تبدیل شدند که 96/83 درصد از واریانس کل را توجیه کردند. عملکرد در شرایط تنش با مولفه اصلی دوم همبستگی بسیار معنی‌داری داشت (0/884) و همچنین عملکرد در شرایط نرمال با مولفه اصلی اول همبستگی بسیار بزرگی داشت (0/955) بنابراین پلات پراکندگی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد در شرایط نرمال و تنش مطابقت بسیار بالایی با پلات پراکندگی ژنوتیپ‌ها بر اساس امتیاز فاکتورهای F_1 و F_2 داشت (شکل 3). در تجزیه بای پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای دو صفت معرف ضریب همبستگی بین صفات است. فاصله بین دو ژنوتیپ تقریبی است از فاصله ماهالانوبیس در فضای K بعدی، فاصله ژنوتیپ با بردار صفت معرف ارتباط آنها با صفت مورد نظر است و همچنین طول بردار صفت معادل با انحراف معیار صفت است. بر اساس پلات دو بعدی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشاهده شد. ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای شاخص‌های STI، GMP، HM، MP و YI عملکرد بالایی در شرایط تنش و عدم تنش داشتند و بنابراین این شاخص‌ها توانایی تفکیک گروه A فرناندز از سایر گروه‌ها را داشتند (1،4،9،17،20،21،31،32). همانطور که در جدول 5 مشاهده می‌شود ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای این شاخص‌ها و رتبه بالا در بین سایر ژنوتیپ‌ها در گروه A فرناندز قرار دارند. بنابراین از این شاخص‌ها می‌توان برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش استفاده کرد. این نتایج با یافته‌های ایلیاس خوخار و همکاران (16)، گل آبادی و همکاران (13) و سی و سه مرده و همکاران (31) مشابهت داشت. آنها گزارش کرده بودند که شاخص‌های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و عدم تنش بسیار مطلوب هستند. ژنوتیپ‌های انتخابی را می‌توان برای انجام تلاقی‌ها و ایجاد جمعیت‌های مختلف به‌منظور تولید لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط نرمال و حساسیت کمتر به تنش خشکی استفاده کرد. شاخص TOL و SSPI دارای همبستگی یک بودند و به‌همین دلیل بردار مربوط به آنها کاملا بر هم منطبق شدند و شاخص DSI و SSI نیز همچنین (شکل 3). ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بزرگ برای این شاخص‌ها که دارای بالاترین رتبه از نظر این شاخص‌ها در میان سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشند دارای عملکرد بالا در شرایط نرمال و عملکرد کم در شرایط تنش می‌باشند (گروه B فرناندز) (شکل 3 و جدول 2). بنابراین با این شاخص‌ها می‌توان ژنوتیپ‌های حساس به تنش و با عملکرد بالا در شرایط نرمال را شناسایی کرد که مطابق با نتایج فرجی (5)، نظری و پاک نیت (24) و هاشم زهی و همکاران (14) بود. این ژنوتیپ‌های انتخابی را می‌توان برای مناطقی با میزان بارندگی مطلوب و یا برای شرایط آبی پیشنهاد کرد. همچنین می‌توان از ژنوتیپ‌های انتخابی برای انجام تلاقی‌ها و ایجاد جمعیت‌های مختلف به‌منظور تولید لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط آبی استفاده کرد.

جدول 3- تجزیه واریانس عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش

Table 3. Analysis of variance of yield in stress and non stress conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	شرایط نرمال	شرایط تنش
		میانگین مربعات	میانگین مربعات
تکرار	1	251858^{ns}	174812^{ns}
بلوک تصحیح شده در تکرار	22	478271	236446
تیمار تصحیح نشده	131	2986147**	2213273**
خطای داخل بلوک	109	259751	192135
کل	263	1636015	1202502
خطای طرح بلوک‌های کامل تصادفی	131	296449	199577
سودمندی نسبت به طرح RCBD		105/84	100/68

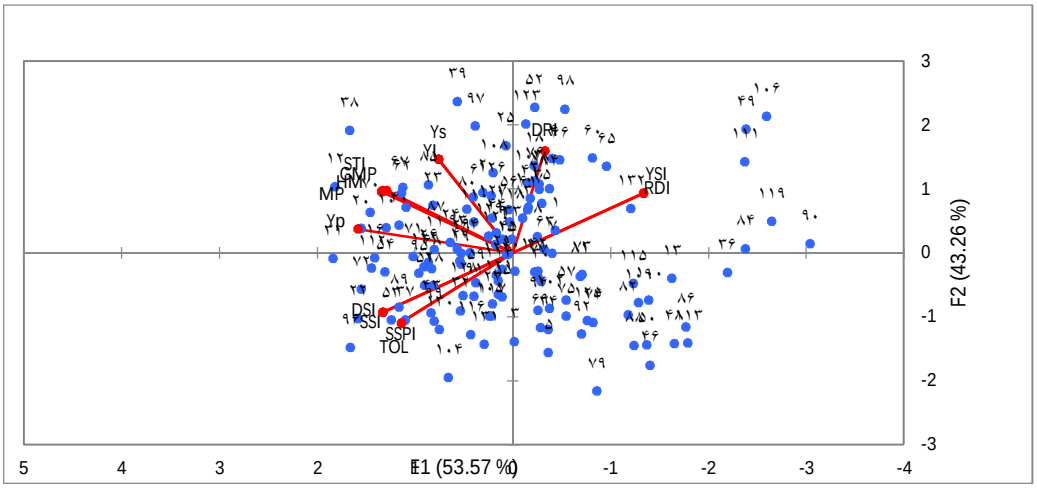
[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

جدول 4- ضرایب همبستگی عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش و شاخص‌های تحمل تنش

Table 4. Correlation coefficients between yield under stress and non-stress and stress tolerance indices

RDI	DRI	DSI	YI	YSI	MP	TOL	SSI	HM	GMP	STI	Y_S	Y_P	شاخص‌ها
												1	Y_P
											1	0/628**	Y_S
										1	0/872**	0/890**	STI
									1	0/978**	0/888**	0/914**	GMP
								1	0/999**	0/978**	0/887**	0/909**	HM
							1	0/329**	0/319**	0/280**	-0/111ns	0/612**	SSI
						1	0/871**	0/175*	0/180*	0/168ns	0/290**	0/562**	TOL
					1	0/185*	0/307**	0/995**	0/999**	0/976**	0/887**	0/917**	MP
				1	-0/307**	0/871**	-1**	0/329**	0/319**	0/280**	0/111ns	0/612**	YSI
			1	0/111ns	0/887**	0/290**	-0/111ns	0/887**	0/888**	0/872**	1**	0/628**	YI
		1	-0/111ns	-1**	0/307**	0/871**	1**	0/329**	0/319**	0/280**	-0/111ns	0/612**	DSI
	1	-0/692**	0/767**	0/692**	0/411**	0/778**	0/692**	0/391**	0/401**	0/398**	0/767**	0/030ns	DRI
1	0/692**	-1**	0/111ns	1**	-0/307**	0/871**	-1**	0/329**	0/319**	0/280**	0/111ns	0/612**	RDI
0/871**	-0/778**	0/871**	0/290**	0/871**	0/185*	1**	0/871**	0/175*	0/180*	0/168ns	0/290**	0/562**	SSPI

ns: غیرمعنی دار و * و**: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد



شکل 3- بای پلات شاخص های تحمل خشکی و ژنوتیپ‌ها براساس مولفه‌های اول و دوم

Figure 3. Biplot of drought tolerance indices and genotypes based on first and second components

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

جدول 5- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش و شاخص‌های تحمل خشکی

Table 5. Coding by ranks of genotypes based on yield under stress and non-stress and drought tolerance indices

رتبه SSPI	رتبه RDI	رتبه DRI	رتبه DSI	رتبه YI	رتبه YSI	رتبه MP	رتبه TOL	رتبه SSI	رتبه Hm	رتبه GMP	رتبه STI	رتبه Ys	رتبه Yp	گروه بندی فرناندز	ژنوتیپ
31	99	93	34	69	99	49	31	34	50	49	49	67	39	C	1
36	87	108	46	107	87	106	36	46	108	108	108	105	90	A	2
102	18	11	115	18	18	26	102	115	27	26	26	18	37	D	3
11	117	120	16	113	117	93	11	16	91	92	92	111	48	A	4
95	24	5	109	9	24	20	95	109	19	19	19	9	25	D	5
41	83	103	50	106	83	107	41	50	110	110	110	104	95	A	6
42	88	80	45	57	88	43	42	45	43	43	43	56	35	C	7
38	91	89	42	69	91	55	38	42	56	55	55	67	43	A	8
54	76	84	57	76	76	65	54	57	69	67	67	74	72	A	9
108	34	77	99	99	34	123	108	99	121	121	121	98	122	A	10
97	39	68	94	80	39	103	97	94	106	105	105	79	105	A	11
109	36	92	97	119	36	131	109	97	131	131	131	116	131	A	12
29	120	66	13	20	120	14	29	13	13	14	14	20	12	D	13
17	114	113	19	94	114	71	17	19	71	70	70	93	44	A	14
69	63	74	70	63	63	58	69	70	62	62	62	61	67	A	15
119	17	50	116	84	17	119	119	116	118	119	119	83	123	A	16
61	74	63	59	50	74	42	61	59	42	42	42	50	42	D	17
15	115	119	18	112	115	98	15	18	98	97	97	110	68	A	18
94	44	58	89	65	44	75	94	89	80	76	76	63	92	A	19
117	27	73	106	101	27	127	117	106	127	127	127	100	127	A	20
78	57	61	76	56	57	53	78	76	58	56	56	56	65	A	21
131	3	14	130	47	3	109	131	130	95	103	103	47	128	B	22
73	61	95	72	108	61	116	73	72	119	118	118	106	110	A	23
86	50	76	83	83	50	97	86	83	103	100	100	82	99	A	24
13	113	122	20	118	113	113	13	20	115	114	114	116	83	A	25
104	32	55	101	72	32	100	104	101	102	102	102	70	106	A	26
98	33	33	100	36	33	45	98	100	45	45	45	36	62	B	27
113	21	39	112	58	21	82	113	112	81	82	82	57	103	A	28
88	47	70	86	75	47	85	88	86	92	87	87	73	94	A	29
68	66	54	67	42	66	36	68	67	36	36	36	42	34	D	30
128	13	46	120	87	13	128	128	120	125	126	126	86	132	A	31
112	16	26	117	38	16	52	112	117	51	52	52	38	86	B	32
50	80	86	53	73	80	63	50	53	65	46	64	71	64	A	33
84	43	20	90	19	43	22	84	90	24	23	23	19	29	D	34
24	102	109	31	89	102	66	24	31	67	66	66	88	46	A	35
27	126	69	7	11	126	9	27	7	8	9	9	11	6	D	36
126	5	16	128	40	5	81	126	128	66	73	73	40	114	B	37
70	62	118	71	123	62	132	70	71	132	132	132	120	130	A	38
10	108	128	25	124	108	130	10	25	130	130	130	121	108	A	39
99	40	78	93	98	40	120	99	93	120	120	120	97	118	A	40
26	100	110	33	93	100	77	26	33	79	77	77	92	55	A	41
57	75	65	58	49	75	39	57	58	41	41	41	49	40	D	42
120	11	22	122	41	11	64	120	122	63	63	63	41	102	B	43

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

ادامه جدول 5- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش و شاخص‌های تحمل خشکی

Continu of the table 5. Coding by ranks of genotypes based on yield under stress and non-stress and drought tolerance indices

رتبه SSPI	رتبه RDI	رتبه DRI	رتبه DSI	رتبه YI	رتبه YSI	رتبه MP	رتبه TOL	رتبه SSI	رتبه Hm	رتبه GMP	رتبه STI	رتبه Ys	رتبه Yp	گروه بندی فرناندز	ژنوتیپ
53	78	87	55	81	78	74	53	55	78	75	75	80	76	A	44
64	67	75	66	62	67	57	64	66	61	60	60	61	61	A	45
66	79	3	54	2	79	2	66	54	3	2	2	2	4	D	46
93	45	62	88	68	45	80	93	88	86	81	81	66	93	A	47
51	101	8	32	4	101	3	51	32	4	3	3	4	3	D	48
2	130	131	3	82	130	32	2	3	25	29	29	81	18	C	49
55	85	9	48	5	85	7	55	48	7	7	7	5	9	D	50
116	20	37	113	59	20	88	116	113	88	88	88	58	107	A	51
4	121	129	12	122	121	118	4	12	116	116	116	119	77	A	52
130	4	15	129	43	4	92	130	129	75	84	84	43	117	B	53
121	15	42	118	71	15	112	121	118	112	112	112	69	121	A	54
91	41	38	92	39	41	44	91	92	44	44	44	39	50	B	55
35	92	101	41	92	92	84	35	41	89	86	86	91	73	A	56
63	71	41	62	29	71	24	63	62	28	25	25	29	28	D	57
21	106	112	27	96	106	79	21	27	77	78	78	95	49	A	58
96	37	48	96	53	37	60	96	96	60	61	61	53	81	A	59
7	123	124	10	105	123	69	7	10	64	65	65	104	36	C	60
30	96	102	37	88	96	70	30	37	73	71	71	87	53	A	61
79	56	98	77	115	56	125	79	77	126	125	125	113	120	A	62
44	86	82	47	60	86	47	44	47	47	47	47	59	41	C	63
82	53	71	80	71	53	78	82	80	87	80	80	69	89	A	64
8	124	123	9	95	124	61	8	9	53	57	57	94	32	C	65
9	119	121	14	111	119	86	9	14	83	85	85	109	45	A	66
77	59	100	74	117	59	126	77	74	128	128	128	115	119	A	67
107	30	51	103	67	30	95	107	103	97	96	96	65	104	A	68
90	38	21	95	22	38	23	90	95	26	24	24	22	31	D	69
106	35	83	98	110	35	129	106	98	129	129	129	108	125	A	70
111	29	56	104	78	29	108	111	104	109	109	109	77	113	A	71
129	6	29	127	62	6	115	129	127	111	113	113	61	126	A	72
43	93	67	40	37	93	29	43	40	32	31	31	37	26	D	73
67	70	27	63	15	70	17	67	63	17	17	17	15	20	D	74
74	58	30	75	23	58	21	74	75	23	22	22	23	24	D	75
18	107	117	26	103	107	87	18	26	90	89	89	102	59	A	76
62	68	57	65	46	68	37	62	65	39	37	37	46	38	D	77
19	109	115	24	100	109	83	19	24	82	83	83	99	51	A	78
85	19	1	114	1	19	6	85	114	6	6	6	1	11		79
52	77	97	56	97	77	105	52	56	107	106	106	96	96	A	80
45	90	64	43	35	90	28	45	43	31	30	30	35	27	D	81
48	95	32	38	13	95	13	48	38	14	13	13	13	17	D	82
32	94	99	39	85	94	68	32	39	70	69	69	84	56	A	83
20	127	88	6	17	127	10	20	6	10	10	10	17	8	D	84
56	73	106	60	116	73	122	56	60	123	123	123	114	112	A	85

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

ادامه جدول 5- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش و شاخص‌های تحمل خشکی

Continu of the table 5. Coding by ranks of genotypes based on yield under stress and non-stress and drought tolerance indices

رتبه SSPI	رتبه RDI	رتبه DRI	رتبه DSI	رتبه YI	رتبه YSI	رتبه MP	رتبه TOL	رتبه SSI	رتبه Hm	رتبه GMP	رتبه STI	رتبه Ys	رتبه Yp	گروه بندی فرناندز	ژنوتیپ
46	116	19	17	6	116	4	46	17	5	5	5	6	5	D	86
89	52	90	81	109	52	121	89	81	122	122	122	107	116	A	87
59	81	10	52	7	81	8	59	52	9	8	8	7	10	D	88
125	8	23	125	51	8	94	125	125	84	91	91	51	115	B	89
23	131	81	2	8	131	5	23	2	2	4	4	8	1	D	90
100	31	36	102	45	31	54	100	102	54	53	53	45	79	B	91
75	54	18	79	12	54	16	75	79	16	16	16	12	21	D	92
87	49	72	84	77	49	90	87	84	96	95	95	76	97	A	93
80	46	31	87	28	46	30	80	87	33	32	32	28	33	D	94
114	22	47	111	66	22	99	114	111	99	99	99	64	111	A	95
132	1	4	132	31	1	104	132	132	68	90	90	31	129	B	96
12	105	125	28	122	105	124	12	28	124	124	124	119	100	A	97
3	125	130	8	121	125	111	3	8	104	107	107	118	52	A	98
122	9	17	124	34	9	62	122	124	57	59	59	34	101	B	99
37	111	45	22	14	111	12	37	22	12	12	12	14	13	D	100
72	60	60	73	54	60	48	72	73	49	48	48	54	47	A	101
76	55	34	78	27	55	27	76	78	30	28	28	27	30	D	102
22	104	114	29	104	104	91	22	29	93	93	93	103	69	A	103
127	2	2	131	10	2	34	127	131	29	33	33	10	85	B	104
103	23	24	110	33	23	40	103	110	40	40	40	33	63	B	105
1	132	132	1	84	132	31	1	1	22	27	27	83	16	C	106
28	97	105	36	90	97	72	28	36	74	72	72	89	54	A	107
25	98	116	35	114	98	110	25	35	113	111	111	112	88	A	108
40	103	43	30	16	103	15	40	30	15	15	15	16	15	D	109
58	72	91	61	91	72	96	58	61	101	98	98	90	91	A	110
5	129	126	4	61	129	25	5	4	21	21	21	60	14	C	111
124	14	44	119	77	14	117	124	119	117	117	117	75	124	A	112
49	112	6	21	3	112	1	49	21	1	1	1	3	2	D	113
83	48	49	85	52	48	50	83	85	52	50	50	52	66	A	114
34	110	59	23	25	110	19	34	23	18	18	18	25	19	D	115
118	12	12	121	26	12	41	118	121	37	38	38	26	75	B	116
101	25	25	108	32	25	38	101	108	38	39	39	32	60	B	117
39	84	94	49	86	84	73	39	49	76	74	74	85	71	A	118
16	128	104	5	24	128	11	16	5	11	11	11	24	7	D	119
65	65	79	68	74	65	67	65	68	72	68	68	72	74	A	120
92	42	40	91	44	42	46	92	91	46	46	46	44	58	B	121
110	28	52	105	70	28	101	110	105	100	101	101	68	109	A	122
6	118	127	15	120	118	114	6	15	114	115	115	117	78	A	123
81	51	53	82	55	51	51	81	82	55	54	54	55	70	A	124
71	64	28	69	17	64	18	71	69	20	20	20	17	22	D	125
33	89	107	44	102	89	102	33	44	105	104	104	101	84	A	126
47	82	96	51	90	82	89	47	51	94	94	94	89	82	A	127
105	26	35	107	48	26	59	105	107	59	58	58	48	87	B	128
60	69	85	64	79	69	76	60	64	85	79	79	78	80	A	129
123	7	13	126	30	7	56	123	126	48	51	51	30	98	D	130
115	10	7	123	21	10	33	115	123	34	34	34	21	57	B	131
14	122	111	11	64	122	35	14	11	35	35	35	62	23	C	132

شاخص YSI و RDI دارای همبستگی یک بودند و به‌همین دلیل بردار مربوط به این دو شاخص کاملا بر هم منطبق شدند (شکل 3). شاخص YSI و RDI دارای همبستگی منفی یک با شاخص‌های SSI و DSI بودند (جدول 4). ژنوتیپ‌های با مقادیر عددی بالا برای شاخص‌های YSI و RDI که در جدول (4) رتبه‌های بزرگی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند دارای عملکردی بالا در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط مطلوب می‌باشند (گروه C فرناندز).

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

ژنوتیپ‌های انتخابی با استفاده از شاخص‌های YSI و RDI را می‌توان برای مناطق خشک با میزان بارندگی بسیار کم به‌کار برد. همچنین اگر هدف تولید ارقام متحمل به خشکی باشد بهتر است از این ژنوتیپ‌ها برای انجام تلاقی‌ها و تولید جمعیت استفاده شود. براساس تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای پلات مشخص شد که ژنوتیپ شماره 12 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد بالاتری در هر دو شرایط تنش و عدم تنش داشت و برای کشت در منطقه مورد آزمایش توصیه می‌شود. این ژنوتیپ برای عملکرد در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های STI، GMP، HM، MP و YI به‌ترتیب دارای رتبه 131، 116، 131، 131، 131، 131 و 119 در میان سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول 5).

براساس نتایج این آزمایش پیشنهاد می‌شود که 1. برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش می‌توان از شاخص‌های STI، MP، GMP، HM و YI استفاده کرد. این شاخص‌ها می‌توانند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها شناسایی کند. 2. انتخاب براساس نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی و بای پلات انجام گیرد (انتخاب با استفاده از اطلاعات چند شاخص به جای استفاده از اطلاعات یک شاخص).

تشکر و قدردانی

از جناب آقایان دکتر منوچهر خدا رحمی عضو هیئت علمی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر و دکتر مظفر روستایی عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات دیم کشور به خاطر همکاری‌شان صمیمانه سپاسگزارم.

منابع

1. Ajalli, J. and M. Salehi. 2012. Evaluation of drought stress indices in barley (*Hordeum vulgare* L.). Annals of Biological Research, 3(12): 5515-5520.
2. Bakhshayeshi Geshlagh, M. and M. Shekarchezade. 2015. Evaluation of genotypes of bread wheat (*Triticum Aestivum*) using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 7(16): 49-59 (In Persian).
3. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
4. Darvishzadeh, R., A. Pirzad, H. Hatami Maleki, S. Poormohammad Kiani and A. Sarrafi. 2010. Evaluation of the reaction of sunflower inbred lines and their F_1 hybrids to drought conditions using various stress tolerance indices. Spanish Journal of Agricultural Research, 8(4): 1037-1046.
5. Faraji, A. 2016. Evaluation of some soybean genotypes (*Glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 8(18): 30-36 (In Persian).
6. Farshadfar, E. and J. Javadinia. 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arientum* L.) genotypes for drought tolerance. Seed and Plant Improvement Journal, 27(4): 517-537 (In Persian).
7. Farshadfar, E., B. Jamshidi and M. Aghaee. 2012. Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat lanraces of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4(5): 226-233.
8. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (eds.) Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, AVRDC Publication, Tainan, Taiwan, 257-270.
9. Firozi, B., O. Sofalian, M. SHokrpour, A. Rasolzadeh and F. Ahmadpoor. 2012. Assessment of Drought Tolerance Indices and their Relation with ISSR Markers in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). Notulae Scientia Biologicae, 4(3): 143-150.
10. Fischer, R.A. and T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. Australian Journal of Agricultural Research, 30: 1001-1020.
11. Fisher, R.A., R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29(5): 897-912.
12. Fleury, D., S. Jefferies, H. Kuchel and P. Langridge. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. Journal of Experimental Botany, 61: 3211-3222.
13. Golabadi, M., A. Arzani and S.A.M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 5: 162-171.
14. Hashemzehi, M., A. Moradgholi and A. Ghasemi. 2013. Evaluation of responses of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes to drought stress using different stress tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 5(12): 112-122 (In Persian).
15. Hatami Maleki, H., N. Abdi, R. Darvishzadeh and M. Jafari. 2016. Mapping QTLs controlling drought tolerance indices in sunflower (*Helianthus annus L.*). Journal of Crop Breeding, 8(20): 228-235 (In Persian).
16. Ilyas Khokhar, M., A.J. Teixeira da Silva and H. Spiertz. 2012. Evaluation of Barley Genotypes for Yielding Ability and Drought Tolerance under Irrigated and Water-stressed Conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 12(3): 287-292.
17. Jafari, A., F. Paknejad and M. Jami AL-Ahmadi. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. International Journal of Plant Production, 3(4): 1735-8043.

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

18. Ji, X.M., B. Shiran, J.L. Wan, D.C. Lewis, C.L.D. Jenkins, A.G. Condon, R.A. Richards and R. Dolferus . 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant Cell and Environment, 33: 926-942.
19. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 7: 85-87.
20. Majidi, M., V. Tavakoli, A. Mirlohi and M.R. Sabzalian. 2011. Wild safflower species (*Carthamus oxvacanthus Bieb.*): A possible source of drought tolerance for arid environments. Australian Journal of Crop Science, 5(8): 1055-1063.
21. Moghaddam, A. and M.H. Hadizadeh. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) Hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Iranian Journal of Seed and Seedling, 18: 255-272 (In Persian).
22. Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert, 12: 165-178 (In Persian).
23. Munns, R. and R.A. Richards. 2010. Recent advances in breeding wheat for drought and salt tolerance. In: Jenks M.A. et al. (eds.) Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerance in crops, Springer, Dordrecht, Netherlands, 565-585.
24. Nazari, L. and H. Pakniyat. 2010. Assessment of drought tolerance in barley genotypes. Journal of Applied Sciences, 10: 151-156.
25. Nevo, E. and G.X. Chen. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. Plant Cell and Environment, 33: 670-685.
26. Oraki H., I. Alah dadi and F. Parhizkar khajani. 2016. Evaluation of Some Soybean Genotypes (*Glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 8(18): 22-38 (In Persian).
27. Rajaram, S., H.J. Braun and M.V. Ginkel. 1996. CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. Euphytica, 92: 147-153.
28. Reynolds, M., D. Bonnett, S.C. Chapman, R.T. Furbank, Y. Manes, D.E. Mather and M.A.J. Parry. 2011. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. Journal of Experimental Botany, 62: 439-452.
29. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
30. Saed Moucheshi, A., B. Heidari and E.A. Farshadfar. 2010. Evaluation of stress indices for drought tolerance screening of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Crop Breeding, 1(4): 49-64 (In Persian).
31. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions, Field Crop research, 98: 222-229.
32. Talebi, R., F. Fayaz and A.M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in drum wheat (*Triticum durum Desf.*). General and Applied Plant Physiology, 35: 64-74.

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]

Relationships Between Drought Stress Tolerance Indices and Their Use in Wheat Screening Programs

Saeid Yarahmadi[1], Ghorbanali Nematzade[2], Hossein Sabouri[3] and Hamid Najafi Zarini[4]

1- Ph.D Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
(Corresponding author:Yarahmadi61@gmail.com)
2 and 4- Professor and Associate Professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Associate Professor of Gonbad Kavous University.
Received: December 28, 2017 Accepted: August 7, 2018

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the indices of drought tolerance and find out the relationships between them and their application in wheat screening programs. In order to proper screening of genotypes, the principal component analysis and biplot were analyzed and genotypes were placed in biplot based on factor scores. An experiment was conducted using alpha lattice design with two replications in rainfed and irrigated conditions using 132 bread wheat genotypes in the Gonbad-e-Kavos Agricultural Research Station in 2015-2016. Based on yield in no stress (YP) and stress (YS) conditions, drought tolerance indices such as stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), tolerance index (TOL), mean production index (MP), Harmonic Index (HM), Yield Index (YI), Sensitivity Drought Index (SDI), Relative Drought Index (RDI), Stress Susceptibility percentage Index (SSPI), Drought Resistance Index (DRI) and yield Stability Index (YSI) Were calculated. Tolerance indices such as STI, GMP, HM, MP and YI had a positive and significant correlation with yield in normal conditions as well as with yield in stress conditions. Therefore, genotypes with large numerical values for these indices had high yield under stress and no stress conditions. TOL, SSPI, DSI and SSI Indices identified genotypes with high yield under normal conditions but sensitive to stress conditions (Group B Fernandez). Also, YSI and RDI indices differentiated genotypes with high yield under stress conditions and low yield under favorable conditions (Group C Fernandez) from other genotypes.

Keywords: Biplot, Drought Stress, Principal Component Analysis, Wheat

[DOI: 10.29252/jcb.12.33.29]