

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

سال چهارم / شماره دوم / ۱۳۹۳ (۱۰۳-۱۱۴)

ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

امیر قلی‌زاده^۱، حمید دهقانی^{۲*} و جان دوراک^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و دانشیار گروه اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس،

۳- استاد گروه اصلاح نباتات دانشگاه کالیفرنیا آمریکا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۹)

چکیده

به منظور تعیین برخی شاخص‌های پایداری مرتبط با عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری، ۴۱ ژنوتیپ گندم نان در دو شرایط نرمال و تنش شوری در مزرعه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در استان یزد مورد ارزیابی قرار گرفتند. شوری آب آبیاری در شرایط نرمال و تنش شوری به ترتیب ۲ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از اختلاف معنی‌دار بین عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش شوری بود. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های روشن و بومی یزد به ترتیب با متوسط عملکرد دانه ۳۷۹۱/۲۵ و ۳۷۶۴/۴۷ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را در دو شرایط نرمال و تنش دارا بودند. برآورد ضریب همبستگی بین شاخص‌ها و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط آزمایشی نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شوری، شاخص‌های میانگین حسابی و هندسی بهره‌وری و شاخص تحمل به تنش می‌باشند. نمودار سه بعدی ژنوتیپ‌ها بر مبنای مقادیر این شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های روشن و بومی یزد از عملکرد دانه بالایی در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری برخوردار بودند و به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش شوری انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، شاخص‌های تحمل، عملکرد دانه، گندم نان

* نویسنده مسئول: dehghanr@modares.ac.ir

مقدمه

قسمت عمده مناطق کشور ما، به دلیل بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق و پایین بودن میزان نزولات جوی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. شوری خاک‌ها و منابع آب، یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور است. دستیابی به ارقام متحمل به شوری که دارای عملکرد بیشتر در شرایط تنش شوری باشند به عنوان یکی از راه‌حل‌های مقابله با این تنش مطرح است. فقدان روش‌های قابل اعتماد برای غربال کردن در شرایط مزرعه‌ای را شاید بتوان بزرگ‌ترین مشکل در بهبود تحمل به شوری گیاهان زراعی دانست (Munns and James, 2003). امروزه تلاش برای یافتن معیارهایی که بتوان از آنها به طور موثری در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل یا مقاوم بهره جست ادامه دارد. با این حال احتمال اینکه ژن‌های تحمل به تنش در یک گیاه متمرکز و توسط روش‌های فیزیولوژیک شناخته شوند بسیار کم است، بنابراین پایداری و ثبات عملکرد و اجزای آن تحت شرایط تنش همچنان از جمله شاخص‌های اصلی انتخاب برای یافتن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی به شمار می‌رود، عبد می‌شانی و شاه نجات بوشهری (Abdemisahni and Shahnejate- Boushehri, 1996). ارزیابی عملکرد گیاه، مهم‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط دارای تنش است (Richards, 1995). با توجه به تنوع وسیع کیفیت‌های مختلف خاک و آب در اراضی زیر کشت گیاهان زراعی، صرف انتخاب ژنوتیپ‌های زراعی بر اساس عملکرد منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در تمام شرایط پتانسیل قابل توجهی نداشته باشند. روش‌های متعددی جهت بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها به محیط در دامنه وسیعی از شرایط آب و خاک ارائه شده‌اند. مقایسه عملکرد در شرایط محیطی متضاد (تنش و بدون تنش) و گزینش ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگارند، هدف اصلی این گونه آزمایش‌ها است (Falconer, 1990). محققان آزمایشاتی تحت هر دو شرایط انجام داده و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که ژنوتیپی مطلوب و پایدار است که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بهترین پاسخ را بدهد (Fernandez, 1992).

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف تنش وجود دارد. شاخص تحمل به تنش

(STI) معیار مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها جهت دستیابی به عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌باشد (Fernandez, 1992). این شاخص، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش هستند را از سایر گروه‌ها جدا می‌کند. شاخص تحمل (TOL) از اختلاف عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بدست می‌آید. مقادیر بیشتر آن نشان‌دهنده پایداری کمتر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف می‌باشد. در شاخص حساسیت به تنش (SSI)، مقادیر کمتر آن پایداری بیشتر یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش را نشان می‌دهد (Fischer and Maurer, 1978). با توجه به همبستگی بالای بین تحمل به شرایط تنش و میانگین عملکرد در محیط‌های مختلف، شاخص میانگین حسابی (MP) می‌تواند به عنوان معیار مناسبی جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها به کار برده شود (Rosielle and Hamblin, 1981).

دهداری و همکاران (Dehdari et al., 2005) با مقایسه شش رقم گندم دارای تحمل به شوری متفاوت و نسل‌های F_1 حاصل از آنها، تحت دو شرایط تنش شوری و بدون تنش نشان دادند که رابطه ژنتیکی تحمل به شوری با شاخص حساسیت به تنش، معنی‌دار بود. رنجبر و روستا (Ranjbar and Rusta, 2011) در مطالعه‌ای شاخص تحمل به تنش (STI) به عنوان شاخص موثر در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم در شرایط شور معرفی کردند. در مطالعه‌ای جعفری شبستری و همکاران (Jafari-Shabestary et al., 1994) در بررسی اثر شوری‌های مختلف آب آبیاری بر ویژگی‌های مختلف تعداد زیادی از ارقام گندم هگزاپلوئید و تتراپلوئید، از شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978) استفاده کرد. در مطالعه‌ای دیگر نوری‌نیا و همکاران (Norinia et al., 2005) از مقادیر بالای شاخص STI برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در جو معمولی و بدون پوشینه (لخت) استفاده کردند. عملکرد دانه و پایداری آن در مناطقی که تنش‌های محیطی وجود دارد معیار مهمی در گزینش ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Reynolds and Trethowan, 2007). این مطالعه با هدف ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های گندم نان با استفاده از شاخص‌های تحمل و همچنین شناسایی بهترین شاخص‌های تحمل به شوری جهت ارزیابی میزان حساسیت و تحمل ژنوتیپ‌های گندم نان انجام شد تا با تعیین

در کرت‌های آزمایشی با دست و با توجه به وزن هزار دانه و قوه نامیه و بر اساس ۲۵۰ دانه در متر مربع در آذرماه انجام گرفت. اندازه‌گیری در هر کرت آزمایشی شامل دو خط کاشت به طول یک متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر بود. در طول فصل رشد در هر دو شرایط جهت تعیین شوری خاک در منطقه توسعه ریشه از خاک و تا عمق ۹۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام گرفت. متوسط میزان شوری عصاره اشباع خاک در طول فصل رشد در شرایط شور و معمولی به ترتیب ۹/۵ و ۲/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. کلیه عملیات داشت شامل کوددهی، وجین علف‌های هرز و آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. در پایان فصل رشد صفات عملکرد و اجزای عملکرد اندازه‌گیری و سپس شاخص‌های حساسیت و تحمل با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

$$\text{Stress Susceptibility Index (SSI)} = \frac{1 - \frac{Y_S}{Y_P}}{1 - \frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}} \quad (\text{Fisher and Maurer, 1978}) \quad (1)$$

$$\text{Stress Tolerance Index (STI)} = \frac{Y_P \times Y_S}{(\bar{Y}_P)^2} \quad (\text{Fernandez, 1992}) \quad (2)$$

$$\text{Tolerance Index (TOL)} = Y_P - Y_S \quad (\text{Rosielle and Hamblin, 1981}) \quad (3)$$

$$\text{Mean Productivity (MP)} = \frac{Y_P + Y_S}{2} \quad (\text{Rosielle and Hamblin, 1981}) \quad (4)$$

$$\text{Geometric Mean Productivity (GMP)} = \sqrt{Y_P \times Y_S} \quad (\text{Fernandez, 1992}) \quad (5)$$

$$\text{Stress Intensity (SI)} = 1 - \frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \quad (\text{Fisher and Maurer, 1978}) \quad (6)$$

داد که اختلاف معنی‌داری بین عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام در شرایط نرمال و تنش شوری وجود دارد (جدول ۱) که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بین ارقام مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین میزان عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن صدانه در شرایط نرمال بیشتر از شرایط شور بود. متوسط عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط نرمال به ترتیب ۲۸۸۴/۱ کیلوگرم در هکتار و ۳۴/۲۳ دانه بود. در حالی که متوسط صفات مذکور در شرایط تنش به ترتیب ۲۲۰۵/۳ کیلوگرم در هکتار و ۳۱/۷۰ دانه بود. متوسط وزن ۱۰۰ دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط نرمال و تنش شوری به ترتیب ۳/۰۲ و

ژنوتیپ‌های مناسب، بتوان از آنها در برنامه‌های اصلاحی و تهیه ارقام متحمل به شوری استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی ویژگی‌های وابسته به عملکرد دانه در تنش شوری تعداد ۴۱ ژنوتیپ گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو شرایط نرمال و تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفتند. این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی شوری در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ انجام گرفت. ژنوتیپ‌های مورد بررسی به صورت کرتی روی خطوط، کشت و مورد ارزیابی قرار گرفتند. آبیاری در شرایط شور با آب ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و در شرایط نرمال با آب ۲ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. کاشت بذرها

که Y_P و Y_S به ترتیب عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش و \bar{Y}_P و \bar{Y}_S به ترتیب میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشد. در این آزمایش برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش LSD و به منظور تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین صفات و نمودار سه بعدی (مدل فراندز) از نرم‌افزار آماری SAS (SAS, 2011) استفاده شد.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آماری در خصوص تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد برای شرایط نرمال و تنش شوری در جدول (۱) آمده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان

جدول ۱- تجزیه واریانس ساده عملکرد و اجزاء عملکرد در شرایط نرمال و تنش شوری

Table 1. Analysis of variance of yield and yield components under normal and salt stress conditions

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)					
			عملکرد دانه		تعداد دانه در سنبله		وزن صد دانه	
			Grain yield (Kg.ha ⁻¹)	Grain number/spike	100 grain weight	نرمال	تنش	نرمال
			نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش
			Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
Replication	تکرار	2	7386179.51**	982233.59**	39.77 ^{ns}	12.60 ^{ns}	1.76**	2.21**
Treatment	تیمار	40	1940791.23**	1357149.30*	128.66**	97.15**	0.50**	0.41**
Error	خطای آزمایش	80	931126.80	852410.60	43.54	41.07	0.22	0.15
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	33.45	31.86	19.27	20.20	15.72	15.19

*، ** و ^{ns}: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

این آزمایش ۰/۳۲ بود. با توجه به اینکه عملکرد دانه گندم در میزان شوری عصاره اشباع خاک ۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند (Mass and Haffman, 1977)، بنابراین، با توجه به میزان عصاره اشباع این آزمایش (۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به نظر می‌رسد که شدت تنش وارد شده در این آزمایش مناسب و منطقی می‌باشد. آنالقی و همکاران (Anagholi et al., 2010) نیز در ارزیابی تحمل به شوری ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش، شدت تنش را ۰/۳۳ به دست آوردند. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ ۱۳ با داشتن کمترین مقدار شاخص حساسیت به تنش (SSI) پایدارترین ژنوتیپ و ژنوتیپ ۴۱ با SSI معادل ۲/۸۴ حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به تنش شوری بودند. مقادیر کمتر شاخص SSI پایداری بیشتر یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش را نشان می‌دهد (Fischer and Maurer, 1978). بیشترین مقدار شاخص تحمل به تنش (STI) مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۲ و ۳۶ بود، ژنوتیپ ۳۱ با STI معادل ۰/۲۲ حساس‌ترین ژنوتیپ مورد بررسی بود. پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌های دارای STI بیشتر، بهتر بود (Fernandez, 1992). از نظر شاخص تحمل (TOL) نیز ژنوتیپ شماره ۳۷ دارای پایداری نسبی بیشتری بود. بیشترین میزان میانگین حسابی بهره‌وری (MP) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۲ و ۳۶ بود (جدول ۳).

۲/۵۹ گرم بود (جدول ۲). کاهش عملکرد دانه عمدتاً از طریق کاهش اجزای عملکرد (تعداد دانه در سنبله و وزن صدانه) حاصل می‌شود. کاهش تعداد دانه می‌تواند بر اثر سوء تنش بر گرده‌افشانی و سقط برخی گل‌ها باشد (Bradford and Haigh, 1994). همچنین کاهش وزن دانه می‌تواند بر اثر کاهش سرعت رشد دانه و یا کاهش طول دوره پر شدن دانه باشد.

با توجه به نتایج از نظر میزان عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های شماره ۳۲ و ۳۶ در شرایط نرمال و تنش شوری عملکرد بالایی تولید نمودند. ژنوتیپ‌های شماره ۲۵ و ۳۱ در شرایط نرمال و تنش شوری عملکرد پایینی داشتند (جدول ۲). ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۹، ۱۷، ۱۹، ۲۳، ۲۴، ۲۶، ۳۶، ۳۷ و ۴۱ بیشترین تعداد دانه در سنبله را در شرایط نرمال دارا بودند. همچنین، در شرایط تنش بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴، ۹، ۱۱، ۱۷، ۱۹، ۲۳، ۲۶، ۲۷، ۳۷ و ۴۱ بود. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰، ۲۰، ۲۸ و ۳۱ کمترین تعداد دانه در سنبله را در شرایط نرمال و تنش شوری داشتند (جدول ۲). نکته قابل توجه اینکه ژنوتیپ شماره ۳۲ بیشترین وزن صد دانه (۳/۴۶ گرم) را در شرایط تنش دارا بود. در شرایط نرمال نیز اگرچه بیشترین وزن صد دانه به این ژنوتیپ اختصاص نداشت، با این حال تفاوت معنی‌داری بین این ژنوتیپ و ژنوتیپ شماره ۵ که بالاترین میزان وزن ۱۰۰ دانه (۴/۱۰ گرم) را به خود اختصاص داده بود، وجود نداشت (جدول ۲).

مقادیر شاخص‌های مختلف تحمل به تنش برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس معادله ۶ شدت تنش وارده (SI) در

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم نان در شرایط نرمال و تنش شوری
Table 2. Mean comparisons of seed yield and yield components in bread wheat genotypes under normal and salt stress conditions

Genotypes	ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ Genotype no.	عملکرد دانه		تعداد دانه در سنبله		وزن صدانه	
			Seed yield (kg.ha ⁻¹)		Seed number per spike		100 seed weight	
			تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal
AKBARI	اکبری	1	2139.16	3485.83	28.46	32.46	3.13	3.33
ALBORZ	البرز	2	2396.25	3266.66	22.06	36.60	3.16	3.60
ARUM	آروم	3	2940.00	2408.33	34.00	33.86	2.80	3.56
AZADI	آزادی	4	1695.00	3812.50	40.20	43.86	1.90	2.63
BAM	بم	5	1876.66	3332.50	31.00	32.33	2.36	4.10
BAYAT	بیات	6	1540.83	4514.16	31.80	31.26	2.20	3.16
BAZ	باز	7	1492.50	2474.16	31.86	28.89	2.86	3.03
BC_RUSHS	بک کراس روشن بهاره	8	2317.50	4165.00	26.93	33.86	2.23	3.23
BC_RUSHW	بک کراس روشن زمستانه	9	2581.25	3943.33	35.60	38.93	2.43	2.86
BEZOSTAY	بزوستایا	10	2436.25	1910.00	24.53	26.73	2.56	2.73
FALAT	فلات	11	2020.83	2371.66	35.86	31.80	2.83	2.90
GASPARD	گاسپارد	12	1380.00	2177.50	32.06	31.06	2.46	3.23
HIRMAND	هیرمند	13	2635.00	1585.83	26.33	29.20	2.96	3.26
INIA	اینیا	14	2065.83	2712.50	30.60	36.02	2.63	3.26
KARACHIA	کارچیا	15	1637.50	2288.33	32.20	38.60	2.20	2.53
KARAJ1	کرج ۱	16	2164.16	2450.83	27.73	28.46	2.83	3.06
KARAJ3	کرج ۳	17	1603.33	3040.00	40.13	47.73	2.26	2.86
KAVEH	کاوه	18	1230.00	3170.00	32.53	30.73	2.26	3.06
KAVIR	کویر	19	2235.00	2048.33	36.26	39.80	1.83	2.40
KHAZARI	خزری	20	1839.16	2125.83	26.86	22.66	3.03	2.83
KRASSHAH	کراس شاهه	21	3543.75	2439.16	32.66	32.73	2.70	2.56
MARUN	مارون	22	2653.33	2644.16	29.20	31.13	3.00	3.50
MIHAN	میهن	23	2210.83	2785.00	41.93	43.13	2.56	2.66
MOGHAN1	مغان ۱	24	2778.33	4419.16	33.86	43.40	2.43	3.06
MORVARID	مروارید	25	1129.16	1405.83	33.48	35.06	2.40	2.96
MV17	ام-وی ۱۷	26	2100.00	1494.16	43.93	41.60	2.53	2.56
NIKNEJAD	نیک نژاد	27	2285.00	3028.33	37.53	35.46	2.66	2.70
OMID	امید	28	1770.00	3262.50	22.46	27.11	2.30	2.73
PARSI	پارسی	29	2445.00	3075.83	31.53	36.33	2.53	3.63
PISHTAZ	پیشتاز	30	2408.33	3745.83	28.33	33.06	2.70	3.33
RASUL	رسول	31	1256.66	1478.75	19.40	23.10	3.30	2.96
RUSHAN	روشن	32	4036.66	3545.83	30.46	29.80	3.46	3.86
SARDARI	سرداری	33	3078.33	2985.83	21.53	29.40	3.20	3.56
SAYSON	سایسون	34	1754.16	2244.16	32.33	31.26	2.30	2.16
SEPAHAN	سپاهان	35	1964.16	3276.66	29.40	29.33	2.63	2.76
BUMI YAZD	بومی یزد	36	3524.44	4004.50	33.80	39.91	2.38	2.81
SHAHRYAR	شهریار	37	4573.75	2833.33	38.26	43.46	2.26	2.86
SISTAN	سیستان	38	2644.16	2676.66	30.86	31.53	2.86	2.63
TABASI	طیسی	39	2393.33	3525.83	31.46	27.93	2.56	3.53
VIRINAK	ویریناک	40	1925.00	2154.16	28.26	26.73	2.66	3.00
ZARIN	زرین	41	1217.50	3690.83	42.80	53.33	2.06	2.80
LSD (5%)	-	-	1565.20	1597.30	10.41	10.79	0.64	0.77
LSD (1%)	-	-	2077.20	2118.70	13.80	14.30	0.85	1.02

جدول ۳- شاخص‌های پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش شوری

Table 3. Stability indices of grain yield of genotypes under normal and salt stress conditions

# شماره ژنوتیپ Genotype no.	Y _s	Y _p	SSI	TOL	MP	GMP	STI
1	2139.17	3485.83	1.641	1346.67	2812.50	2730.71	0.896
2	2396.25	3266.67	1.132	870.42	2831.46	2797.81	0.941
3	2940.00	2408.33	-0.938	-531.67	2674.17	2660.92	0.851
4	1695.00	3812.50	2.360	2117.50	2753.75	2542.08	0.776
5	1876.67	3332.50	1.856	1455.83	2604.58	2500.80	0.751
6	1540.83	4514.17	2.798	2973.33	3027.50	2637.34	0.836
7	1492.50	2474.17	1.685	981.67	1983.33	1921.64	0.443
8	2317.50	4165.00	1.884	1847.50	3241.25	3106.83	1.160
9	2581.25	3943.33	1.467	1362.08	3262.29	3190.41	1.223
10	2436.25	1910.00	-1.170	-526.25	2173.13	2157.14	0.559
11	2020.83	2371.67	0.628	350.83	2196.25	2189.23	0.576
12	1380.00	2177.50	1.556	797.50	1778.75	1733.48	0.361
13	2635.00	1585.83	-2.811	-1049.2	2110.42	2044.18	0.502
14	2065.83	2712.50	1.013	646.67	2389.17	2367.19	0.673
15	1637.50	2288.33	1.208	650.83	1962.92	1935.75	0.450
16	2164.17	2450.83	0.497	286.67	2307.50	2303.04	0.637
17	1603.33	3040.00	2.008	1436.67	2321.67	2207.74	0.585
18	1230.00	3170.00	2.600	1940	2200.00	1974.61	0.468
19	2235.00	2048.33	-0.387	-186.67	2141.67	2139.63	0.550
20	1839.17	2125.83	0.572	286.67	1982.50	1977.31	0.470
21	3543.75	2439.17	-1.924	-1104.60	2991.46	2940.03	1.039
22	2653.33	2644.17	-0.014	-9.17	2648.75	2648.75	0.843
23	2210.83	2785.00	0.876	574.17	2497.92	2481.36	0.740
24	2778.33	4419.17	1.577	1640.83	3598.75	3503.99	1.476
25	1129.17	1405.83	0.836	276.67	1267.50	1259.93	0.190
26	2100.00	1494.17	-1.722	-605.86	1797.08	1771.37	0.377
27	2285.00	3028.33	1.042	743.33	2656.67	2630.54	0.831
28	1770.00	3262.50	1.943	1492.50	2516.25	2403.04	0.694
29	2445.00	3075.83	0.871	630.83	2760.42	2742.34	0.904
30	2408.33	3745.83	1.517	1337.50	3077.08	3003.53	1.084
31	1256.67	1478.75	0.638	222.08	1367.71	1363.19	0.223
32	4036.67	3545.83	-0.588	-490.83	3791.25	3783.30	1.720
33	3078.33	2985.83	-0.131	-92.5	3032.08	3031.73	1.105
34	1754.17	2244.17	0.927	490	1999.17	1984.10	0.473
35	1946.17	3276.67	1.702	1312.5	2620.42	2536.91	0.773
36	3524.44	4004.50	0.509	480.06	3764.47	3756.81	1.696
37	4573.75	2833.33	-2.610	-1740.4	3703.54	3599.86	1.557
38	2644.17	2676.67	0.051	32.5	2660.42	2660.37	0.850
39	2393.33	3525.83	1.364	1132.5	2959.58	2904.91	1.014
40	1925.00	2154.17	0.452	229.17	2039.58	2036.36	0.498
41	1217.50	3690.83	2.847	2473.33	2454.17	2119.81	0.540

اسامی ژنوتیپ‌ها در جدول ۲ ارایه شده و شاخص‌های پایداری نیز بر اساس روابط ۱ تا ۶ محاسبه شده‌اند.

Genotype names are shown in Table 2. Stability parameters are calculated by the equations 1 to 6.

حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) همبستگی معنی‌دار اما منفی وجود داشت. در مقابل، بین Y_s و Y_p و نیز بین شاخص‌های SSI و TOL با شاخص‌های STI، MP و GMP همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

بین میزان عملکرد دانه در شرایط نرمال (Y_p) و تنش (Y_s) با شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین حسابی عملکرد دانه (MP) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) همبستگی معنی‌داری به دست آمد. البته بین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_s) با شاخص

جدول ۴- همبستگی بین شاخص‌های پایداری عملکرد و میزان عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری

Table 4. Correlation between yield and yield stability indices under normal and salinity conditions

Stability index	شاخص‌های پایداری	Ys	Yp	SSI	TOL	MP	GMP	STI
Ys	عملکرد در شرایط تنش	1						
Yp	عملکرد در شرایط نرمال	0.188 ^{ns}	1					
SSI	شاخص حساسیت به تنش	-0.655 ^{**}	0.565 ^{**}	1				
TOL	شاخص تحمل	-0.599 ^{**}	0.673 ^{**}	0.955 ^{**}	1			
MP	میانگین حسابی عملکرد	0.749 ^{**}	0.791 ^{**}	-0.026 ^{ns}	0.080 ^{ns}	1		
GMP	میانگین هندسی بهره‌وری	0.808 ^{**}	0.721 ^{**}	-0.105 ^{ns}	-0.020 ^{ns}	0.989 ^{**}	1	
STI	شاخص تحمل به تنش	0.823 ^{**}	0.685 ^{**}	-0.125 ^{ns}	-0.061 ^{ns}	0.974 ^{**}	0.998 ^{**}	1

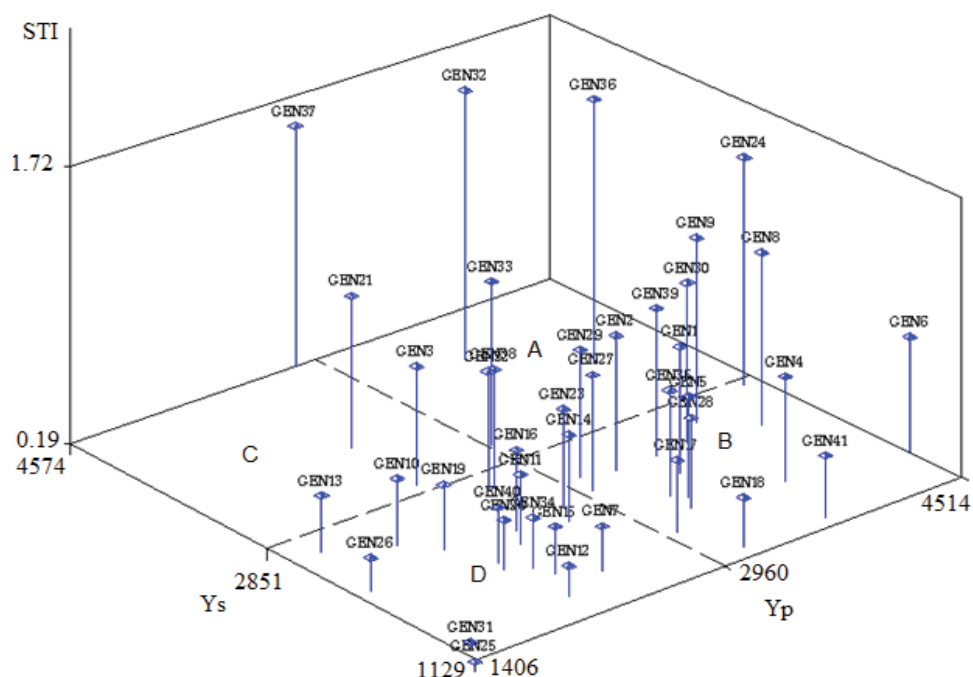
^{ns} و ^{**}: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

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

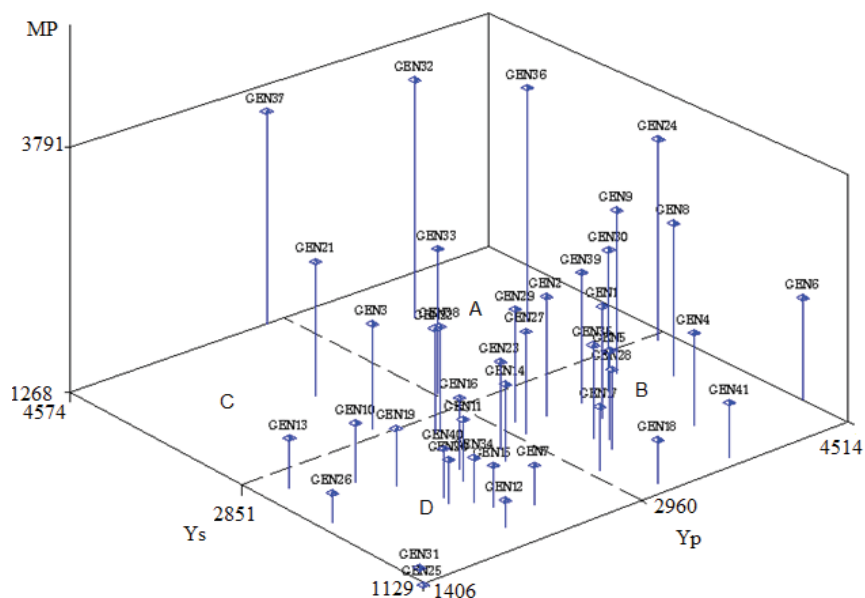
شور و نرمال بالا باشد (Richard, 1983; Shanon, 1997). در این آزمایش، همبستگی مثبت بالایی بین متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های STI، MP و GMP مشاهده شد (جدول ۴). در عین حال مقادیر بسیار بالای همبستگی دو شاخص STI و GMP با شاخص MP سبب می‌شود که شاخص MP در این دو شاخص پنهان باشد و به همین دلیل ژنوتیپ‌های منتخب بر اساس دو شاخص STI و GMP، عمدتاً از مقادیر بالای شاخص MP نیز بهره می‌برند (Naderi *et al.*, 2000). با توجه به همبستگی مثبت معنی‌دار بین سه شاخص MP، GMP و STI بهره‌گیری از هر یک از آنها، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب، تفاوتی در نتیجه کار ایجاد نمی‌کند. بنابراین در ترسیم نمودارهای سه بعدی (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) از عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری و شاخص‌های MP، GMP، STI به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها که توانستند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهند، استفاده شد. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها می‌تواند به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با متوسط عملکرد بیشتر در محیط‌های مختلف کمک کند. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها در شرایط تنش توسط بسیاری از محققین پیشنهاد شده است (Fernandez, 1992; Golabadi *et al.*, 2006; Talebi *et al.*, 2009; Salehi and Mosavat, 2010).

فرناندز (Fernandez, 1992) بر اساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش، آن‌ها را در چهار گروه دسته‌بندی کرد. در گروه A، ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که در هر دو محیط برتری نسبی از نظر عملکرد داشتند. گروه B، شامل ژنوتیپ‌هایی بود که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی داشتند. گروه C، ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که در شرایط تنش عملکرد نسبی بالاتری داشتند. این گونه ژنوتیپ‌ها در کل به شرایط محیطی مطلوب حساس بوده و به علت ورس، رشد رویشی زیاد یا ابتلا به آفات و بیماری‌ها در شرایط مطلوب، عملکرد کمتری تولید می‌نمایند. در گروه D، ژنوتیپ‌هایی قرار گرفتند که در شرایط مطلوب و تنش عملکرد کمی داشتند. به دلیل آثار متقابل شدید ژنوتیپ و محیط، اصلاح گیاهان زراعی برای سازگاری به دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی، اگر چه غیر ممکن نیست، اما بسیار دشوار است (Yau *et al.*, 1991). به طور معمول در برنامه‌های به‌نژادی، ژنوتیپ‌هایی به عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آنها با محیط کم باشد (Eberhart and Russell, 1996). به نظر فرناندز (Fernandez, 1992) بهترین معیار آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد، زیرا پایداری در عملکرد ژنوتیپ‌های مربوط به این گروه بیشتر است.

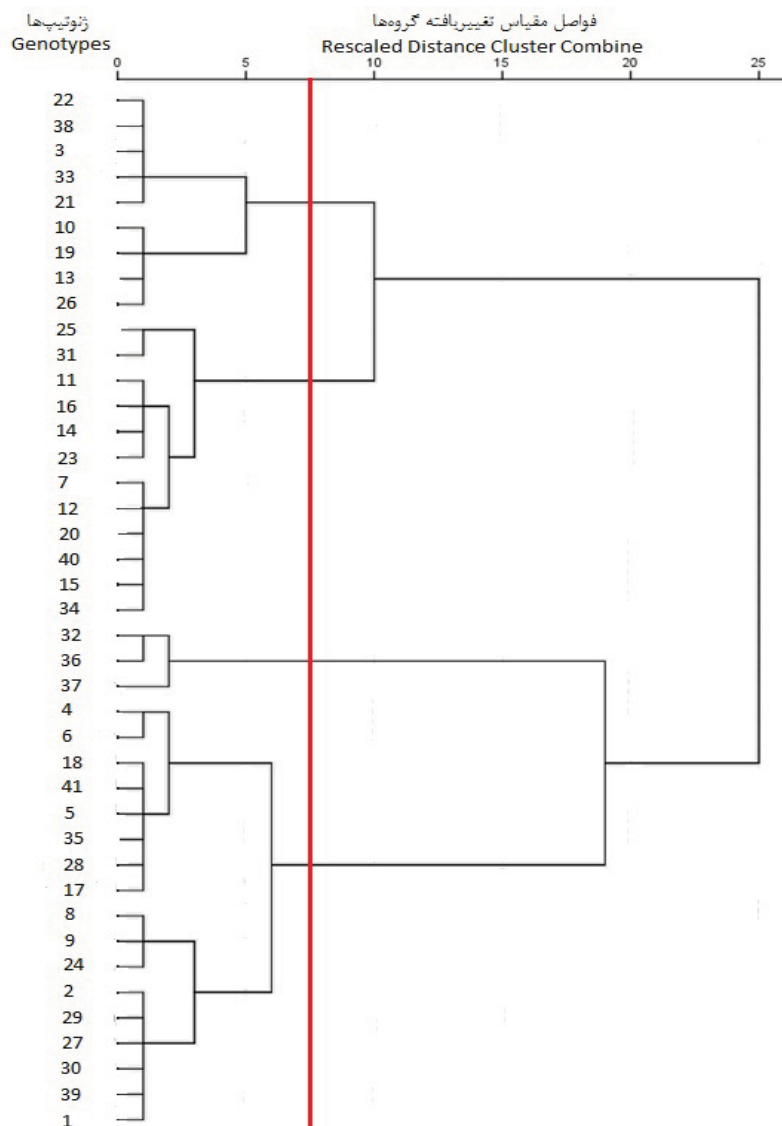
با توجه به تنوع وسیع کیفیت‌های مختلف خاک و آب در اراضی زیر کشت گندم، در شرایط شور باید به دنبال ژنوتیپ‌هایی بود که متوسط عملکرد آنها در هر دو شرایط



شکل ۱- پراکنش سه بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش شوری و شاخص تحمل به تنش
 Figure 1. Three dimensional dispersion of the studied genotypes based on grain yield in normal and salinity stress and stress tolerance index (STI)



شکل ۲- پراکنش سه بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش و شاخص میانگین حسابی بهره‌وری
 Figure 2. Three dimensional dispersion of the studied genotypes based on grain yield in normal and salinity stress and mean productivity (MP)



شکل ۴- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم نان با روش حداقل واریانس وارد بر اساس سه شاخص MP، GMP و STI
 Figure 4. Dendrogram of cluster analysis of wheat genotypes by Ward's minimum variance based on MP, GMP and STI indices

References

- Abdemishani, S. A. and Shahnejat-Boshehri, A. 1996. Supplementary plant breeding. Tehran University. (In Persian).
- Anaghali, A., Tabatabaee S. A. and Foman, A. 2010. Evaluation of salinity tolerance of forage sorghum varieties with stress tolerance and susceptibility indices. **Electronic Journal of Crop Production** 3 (1): 89-102. (In Persian).
- Bradford, K. J. and Haigh, A. M. 1994. Relationship between accumulated hydrothermal time during seed priming and subsequent seed germination rates. **Seed Science Research** 4: 63-63.
- Dehdari, A., Rezai, A. and Maibody, S. A. M. 2005. Salt tolerance of seedling and adult bread wheat plants based on ion contents and agronomic traits. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 36: 2239-2253.

- Eberhart, S. T. and Russell, W. 1966.** Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science** 6: 36-40.
- Falconer, D. 1990.** Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. **Genetic Research** 56: 57-70.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Proceeding of the 4th International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. August 13-18, Tainan, Taiwan. pp: 257-270.
- Fischer, R. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Crop and Pasture Science** 29: 897-912.
- Golabadi, M., Arzani, A. and Maibody, S. M. 2006.** Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. **African Journal of Agricultural Research** 1: 162-171.
- Jafari-Shabestary, J., Korck, H. and Kvalst, K. 1994.** The study of salt tolerance hexaploid and tetraploid wheat landraces in normal and salt stress conditions. Proceeding of the 1st Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding. September 6-9, College of Agriculture, Tehran University, Karaj, Iran. (In Persian).
- Maas, E. and Hoffman, G. 1977.** Crop salt tolerance current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division** 103: 115-134.
- Munns, R. and James, R. A. 2003.** Screening methods for salinity tolerance: A case study with tetraploid wheat. **Plant and Soil** 253: 201-218.
- Naderi, A., Majidi-Heravan, E., Hashemi-Dezfuli, A., Rezaie, A. and Nour-Mohamadi, G. 2000.** Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. **Seed and Plant** 15: 390-402. (In Persian).
- Norinia, A., Naderi, D. and Yaghmaee, F. 2005.** Evaluation and selection of hulless and normal barley genotypes of salt tolerant. Proceeding of the 8th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding. August 25-27, University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian).
- Ranjbar, G. H. and Rusta, M. J. 2011.** The most effective sustainability index in selection of wheat genotypes under saline conditions. **Iranian Journal of Soil Research** 24 (3): 283-290. (In Persian).
- Richards, R. 1983.** Should selection for yield in saline regions be made on saline or non-saline soils? **Euphytica** 32: 431-438.
- Richards, R. 1995.** Improving crop production on salt-affected soils by breeding or management? **Experimental Agriculture** 31: 395-408.
- Reynolds, M., Dreecer, F. and Trethowan, R. 2007.** Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. **Journal of Experimental Botany** 58: 177-186.
- Rosielle, A. and Hamblin, J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 943-946.
- Salehi, M. and Mosavat, S. A. 2010.** Selection criteria of wheat genotypes under salt stress in Golestan province. **Electronic Journal of Crop Production** 1 (4): 19-33. (In Persian).
- SAS. 2011.** SAS/STAT user's guide. 2nd ed. SAS Institute Inc., Cary, Nc.
- Shannon, M. C. 1997.** Adaptation of plants to salinity. **Advances in Agronomy** 60: 75-120.
- Talebi, R., Fayaz, F. and Naji, A. M. 2009.** Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **General and Applied Plant Physiology** 35: 64-74.
- Yau, S., Ortiz-Ferrara, G. and Srivastava, J. 1991.** Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. **Crop Science** 31: 571-576.

Evaluating salt tolerance of bread wheat genotypes using stress tolerance indices

Amir Gholizadeh¹, Hamid Dehghani^{2*} and Jan Dvorak³

1 and 2. M. Sc. Student and Assoc. Prof., respectively, Dept. of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, 3. Prof., Dept. of Plant Breeding, University of California

(Received: September 4, 2013- Accepted: March 10, 2014)

Abstract

To determine some of stability parameters related to grain yield in salinity condition, 41 bread wheat genotypes were evaluated under two non-stress and stress conditions in research field of the National Salinity Research Center (NSRC) in Yazd province. The salinity of irrigation water was 2 and 10 ds.m⁻¹ for normal and salt conditions, respectively. Result of analysis of variance showed significant differences between genotypes for grain yield and yield components in both normal and salt stress conditions. Roshan and Yazd local varieties with the average grain yield of 3791.25 and 3764.47 kg.ha⁻¹ respectively, had the highest grain yield in normal and salt stress conditions. Evaluating the correlation coefficients between indices and average grain yield in both experimental conditions showed that the three indices of mean productivity, geometric mean productivity and stress tolerance index were the best criteria for the selection of tolerant genotypes to salinity stress. Also, the three-dimensional diagrams derived from each index and grain yield in normal and salt stress conditions confirmed that the Roshan and Yazd local varieties had the highest grain yield in normal and salinity conditions and were the most tolerant genotypes to salinity stress.

Keywords: Bread wheat, Grain yield, Salt stress, Tolerance indices

*Corresponding author: dehghanr@modares.ac.ir