مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۲۹، شماره ۳، سال ۱۳۹۲

ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان برای تحمل به تنش خشکی انتهائی در مناطق گرم جنوب ایران

Evaluation of Bread Wheat Genotypes for Terminal Drought Stress Tolerance in South-Warm Regions of Iran

احمد نادری[۱]، حسین اکبری‌مقدم[۲] و خلیل محمودی[۳]

۱- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز
۲- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، زابل
۳- کارشناس، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، ایرانشهر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۰

چکیده

نادری، ا.، اکبری‌مقدم، ح. و محمودی، خ. ۱۳۹۲. ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان برای تحمل به تنش خشکی انتهائی در مناطق گرم جنوب ایران. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۹:** ۶۱۶ - ۶۰۱.

شش لاین پیشرفته گندم نان و ۹ لاین پرمحصول گزینش شده از جمعیت Seri/Babax همراه با رقم تجارتی چمران به عنوان شاهد در دو سال زراعی ۹۰-۱۳۸۸ در ایستگاه‌های منطقه گرم جنوب ایران بررسی شدند. در هر ایستگاه دو آزمایش مستقل شامل آبیاری کامل تا زمان رسیدگی و تنش خشکی انتهائی، و هر یک در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی انتهائی با استفاده از پانزده شاخص ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اثر ساده و متقابل مرکب دوگانه و سه گانه عوامل آزمایشی برای عملکرد دانه در هر دو شرایط معنی‌دار بودند. عملکرد دانه رقم چمران در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی پایان فصل به ترتیب ۶۰۵۶ و۵۱۰۹کیلوگرم در هکتار و میانگین کل عملکرد دانه در این دو شرایط به ترتیب ۶۰۰۶ و۴۶۶۷کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط آبیاری کامل، بالاترین عملکرد دانه با ۶۳۷۶کیلوگرم در هکتار به لاین شماره ۹ تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی پایان فصل، عملکرد دانه هیچ یک از لاین از عملکرد دانه رقم چمران بالاتر نبود. به جز برخی موارد، دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از معیارهای حساسیت و تحمل به گروه‌بندی یکسان ژنوتیپ‌ها منجر نشد و فقط بر اساس شاخص تحمل به تنش تغییر یافته (MSTI) و شاخص عملکرد (YI)، ژنوتیپ‌های مورد بررسی به نحو کاراتری تفکیک شدند. با توجه به نتایج این تحقیق لاین‌های شماره ۴، ۹ و۱۲ به ترتیب با عملکرد دانه ۶۳۳۷، ۶۳۷۶ و ۶۲۴۲ کیلوگرم درهکتار در شرایط بدون محدودیت آب و ۴۷۳۰، ۴۷۸۱ و ۴۷۸۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش کمبود آب انتهای فصل، دارای تحمل نسبی به تنش خشکی بودند. با توجه به شدت تنش در این تحقیق (SI = ۰/۲۲)، به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های گزینش شده در شرایط بدون محدودیت آب، در شرایط تنش ملایم کمبود آب نیز عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: گندم، تنش خشکی، عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی.

نویسنده مسئول: ah_naderi36@yahoo.com تلفن: ۰۶۱۱۳۷۳۷۳۵۶

مقدمه

رشد فزآینده جمعیت و نیاز به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب، مسئله کم آبی را به طور جدی در جهان و از جمله ایران، به عنوان یکی از چالش‌های اصلی آینده مطرح کرده است. کمبود آب پایان فصل از عوامل کاهش تولید در بخش وسیعی از اراضی اقلیم گرم جنوب به شمار می‌رود. تحمل به خشکی در یک گیاه علاوه بر میزان تنش رطوبتی خاک به شرایط بارندگی، دما، ویژگی‌های گیاه و اعمال مدیریت‌های مزرعه نیز بستگی دارد.

لویت (Levitt, 1980) مقایسه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط خشکی با عملکرد آن‌ها در شرایط رطوبت مطلوب را به عنوان شاخص تحمل به خشکی معرفی کرد. فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1992) بیان داشتند که ژنوتیپ‌های سازگار، از حساسیت کمتر به شرایط نا مساعد محیطی برخوردارند. برای سازگاری با تنش خشکی وتعدیل شرایط محیطی به نفع گیاه، صفاتی نظیر زودرسی و اجزاء وابسته به عملکرد دانه از جمله پایداری عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد سطح مورد توجه پژوهندگان قرارگرفته‌اند (Ali *et al*., 2001؛ Richards *et al*., 2001). جمال و همکاران (Jamal *et al*., 1996) گزارش دادند کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی از اثر این تنش در مراحل ساقه رفتن، پنجه زدن و تورم سنبله بیشتر بود. رین و همکاران (Rain *et al*., 2001) گزارش دادند که تنش کمبود آب در مرحله قبل از گرده‌افشانی اثر کاهشی معنی‌دار بر عملکرد دانه ساقه اصلی گذاشت، آن‌ها کاهش عملکرد در اثر تنش را ناشی از کاهش تعداد دانه و وزن هزار دانه دانستند. در یک مطالعه در شرایط تنش خشکی دو صفت تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح به عنوان مهم‌ترین صفات موثر در عملکرد دانه ارزیابی شدند، و بالاترین اثر مستقیم در عملکرد دانه به تعداد دانه در سنبله تعلق داشت (Leilah and AL- Khateeb, 2005).

یکی از اهداف اساسی در برنامه‌های به‌نژادی معرفی ژنوتیپ‌هائی است که ضمن آن‌که از عملکرد بالائی برخوردار باشند، پایداری عملکرد دانه آن‌ها در پاسخ به تغییرات شرایط محیطی نیز بالا باشد. شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی عکس‌العمل و پایداری عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌دار ارائه شده است. ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) شیب تغییرات عملکرد دانه را به عنوان تابعی از تغییرات محیط‌های مختلف و به عنوان شاخص پایداری عملکرد معرفی کردند.

فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص

حساسیت به تنش (SSI:Stress Susceptibility Index) که معیاری از نسبت تغییرات عملکرد دانه یک ژنوتیپ در دو شرایط تنش دار نسبت به شرایط مطلوب است، را معرفی کردند. روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص‌های میانگین تولید (MP: Mean Productivity) و تحمل (TOL: Tolerance) را برای ارزیابی عکس‌العمل گیاهان زراعی ارائه کرده و بیان داشتند که ژنوتیپ‌هائی با MP بالا و TOL کم از پایداری تولید بالاتری در شرایط تنش برخوردار هستند. در شاخص‌های معرفی شده توسط این محققین مقدار TOL براساس تفاوت میانگین عملکرد در شرایط مطلوب و تنش‌دار محاسبه می‌شود. فرناندز (Fernandez, 1992) با ارزیابی کارائی شاخص‌های تحمل معرفی شده توسط فیشر و مائورر (Fischer and Maurrer, 1978) از یک سو و روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981)از سوی دیگر، شاخص تحمل به تنش (STI: Stress Tolerance Index) را معرفی کردند. بوسلاما و شاپاق (Bouslama and Schapaugh, 1984) شاخص پایداری (YSI: Yield stability index) را که از نسبت عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش به عملکرد دانه همان ژنوتیپ در شرایط بدون تنش است، را معرفی کردند. کریستین و همکاران (Kristin *et al.*, 1997) میانگین هارمونیک (HM: Harmonic Mean) را به عنوان شاخصی برای برای ارزیابی گیاهان زراعی در شرایط تنش معرفی کردند.

گاویوزی وهمکاران (Gavuzzi *et al.*, 1997) شاخص عملکرد (YI: Yield Index) را که از نسبت عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش به میانگین عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط مذکور محاسبه می‌شود، ارائه دادند. نادری و همکاران (Naderi *et al.*, 2000) شاخص تحمل به تنش تغییر یافته (MSTI: Modified Stress Tolerance Index) را برای غربال کردن مواد ژنتیکی برای شرایط محیطی با تنش کم و تنش زیاد معرفی کردند.

ضریب تغییرات کمتر و میانگین عملکرد بالاتر توسط ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) و فرانسیس و کنبرگ (Francis and Kannenberg, 1978) به عنوان شاخص‌های پایداری معرفی شدند. طالبی و همکاران (Talebi *et al.*, 2009) سه شاخص STI، GMP و MP را به عنوان شاخص‌هائی با بیشترین کارائی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش معرفی کردند. در یک بررسی در سال ۱۳۷۹ در استان خوزستان، تحمل ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش خشکی ارزیابی و نشان داده شد که عملکرد دانه با شاخص‌های MP، STI و

SSI همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (نادری، گزارش منتشر نشده).

گندم آبی در منطقه گرم جنوب کشور به دلیل محدودیت منابع آب از یک سو، کاهش نزولات جوی و رقابت سایر محصولات برای آب از سوی دیگر، عمدتاً با خشکی آخر فصل روبرو است، در نتیجه برای این منطقه از کشور، معرفی ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی پایان فصل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

موفقیت برای دست یابی به ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط محیطی تنش دار مستلزم مقایسه مواد ژنتیکی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر است. هدف از اجرای این تحقیق ارزیابی عکس العمل ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه وشناسایی لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در چهار سال و هر سال در سه ایستگاه اهواز، ایرانشهر و زابل انجام شد. از آزمایش پیشرفته تحمل به تنش خشکی اجراء شده در دو سال زراعی۸۷ -۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷، شش لاین امید بخش انتخاب شدند. شش لاین انتخابی همراه با ۹ لاین پرمحصول گزینش شده از جمعیت Seri/Babax همراه بارقم تجارتی چمران به عنوان شاهد در دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ بررسی شدند.

در هر سال و در هر ایستگاه دو آزمایش مجزا شامل ۱- آبیاری کامل تا زمان رسیدگی و ۲- اعمال تنش خشکی انتهائی از طریق قطع آب از مرحله ظهور سنبله تا رسیدگی فیزیولوژیکی، هر یک در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. مصرف کودهای شیمیایی و مدیریت علف‌های هرز به ترتیب بر اساس توصیه بخش‌های خاک و آب و روش گیاه‌پزشکی هر ایستگاه انجام شد. هر لاین روی شش خط پنج متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بروش کرتی کشت و میزان بذر بر مبنای ۴۰۰ دانه در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه تعیین شد. سایر عملیات زراعی از قبیل آبیاری و مراقبت‌های دیگر به طور یکنواخت اجراء و در آخر فصل عملکرد دانه هر ژنوتیپ پس از حذف حاشیه در سطح ۳/۲ مترمربع برداشت و بر اساس کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد.

برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در هریک از شرایط آبیاری کامل و تنش کمبود آب پایان فصل، میانگین رتبه (Ranking) و درصد عملکرد دانه هر ژنوتیپ نسبت به شاهد (%C) و شاخص‌های SSI، TOL، MP، HM، GMP، STI، YI، K_2STI و K_1STI بر اساس روابط زیر محاسبه شدند:

$$SI = 1- (\hat{Y}s / \hat{Y}p)$$

(Fischer and Maurer, 1978)

$$SSI = 1 - (Ys / Yp) / SI$$

(Fischer and Maurer, 1978)

$$TOL = (Yp - Ys)$$

(Rosielle and Hamblin, 1981)

$MP = (Ys + Yp) /2$

(Rosielle and Hamblin, 1981)

$GMP = (Ys \times Yp)^{1/2}$

(Fernandez, 1992)

$HM = 2(Yp \times Ys) / (Yp + Ys)$

(Kristin *et al.*,1997)

$STI = (Yp \times Ys) / (\hat{Y}p)^2$

(Fernandez, 1992)

$YI = Ys / \hat{Y}s$

(Gavuzzi *et al.*, 1997)

$YSI = Ys / Yp$ (Levitt, 1980)

$MSTI = kiSTI$ (Naderi *et al.*, 2000)

$k_1 = (Yp^2) / (\hat{Y}p^2)$

$k_2 = (Ys^2) / (\hat{Y}s^2)$

در روابط مذکور $\hat{Y}p$ و$\hat{Y}s$ به ترتیب میانگین کل عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب و تنش، Yp و Ys به ترتیب عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط مطلوب و تنش و MSi و $\hat{Y}i$ به ترتیب میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در هر یک از شرایط و میانگین مربعات عملکرد دانه آن ژنوتیپ در همان شرایط هستند. تجزیه واریانس برای عملکرد دانه انجام شد. همبستگی عملکرد دانه با شاخص‌های تحمل و حساسیت و تجزیه خوشه‌ای برای تعیین تشابه ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

بافت خاک و مشخصات جغرافیائی ایستگاه‌های محل آزمایش در جدول ۱ و شجره ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- بافت خاک و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل انجام آزمایش

Table 1. Soil texture and geographical coordinates of sites of the experiment

Sites	مکان	Soil	Geographical Characteristics	
			Longitude	Latitude
Ahvaz	اهواز	Clay	48º:42`N	31º:20`N
Iranshahr	ایرانشهر	Loamy	60º:42`N	27º:12`N
Zabol	زابل	Loamy	61º:30`N	31º:2`N

نتایج تجزیه واریانس واریانس مرکب داده‌ها در هر یک از شرایط بدون محدودیت آب و تنش خشکی پس از ظهور سنبله در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان دادکه در هر دو شرایط بدون محدودیت آب و تنش خشکی اثر سال معنی‌دار بود، تفاوت بین ایستگاه ها و ژنوتیپ‌ها واثر متقابل دوگانه و سه گانه شامل سال × مکان، ژنوتیپ ×سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در هر دو شرایط انجام این تحقیق معنی‌دار شد (جدول ۳). با توجه به مختصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌ها (جدول ۱)، تفاوت بین ایستگاه‌ها احتمالاً

جدول ۲- شجره ژنوتیپ‌های گندم نان
Table 2. Pedigree of bread wheat genotypes

No.	Pedigree
1	Check:Chamran
2	Cham-6/4/sissonais/depres//cal/hu/3/ald"s"
3	ALVD//ALDAN/LAS/3/SIREN
4	M17/ZAGROS//MARVDASHT
5	Pastor/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5
6	PASTOR*2/3/BJY/COC//PRL/BOW
7	ALTAR 84//AE.SQUARROSA(TAUS)//OPATA/3/BAU/MILAN
8	CROC-1/AE.SQUARROSA(213)//PGO/3/BABAX
9	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B- 1
10	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-2
11	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-3
12	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-4
13	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-5
14	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-6
15	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-7
16	BAV92/SERI CMSS96Y04084s-0Y-1B-32TLA-0B-0Y-26B-8

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه در شرایط محیطی بدون تنش و تنش خشکی انتهای فصل
Table 3. Analysis of variance of grain yield in non-stress and terminal drought stress conditions

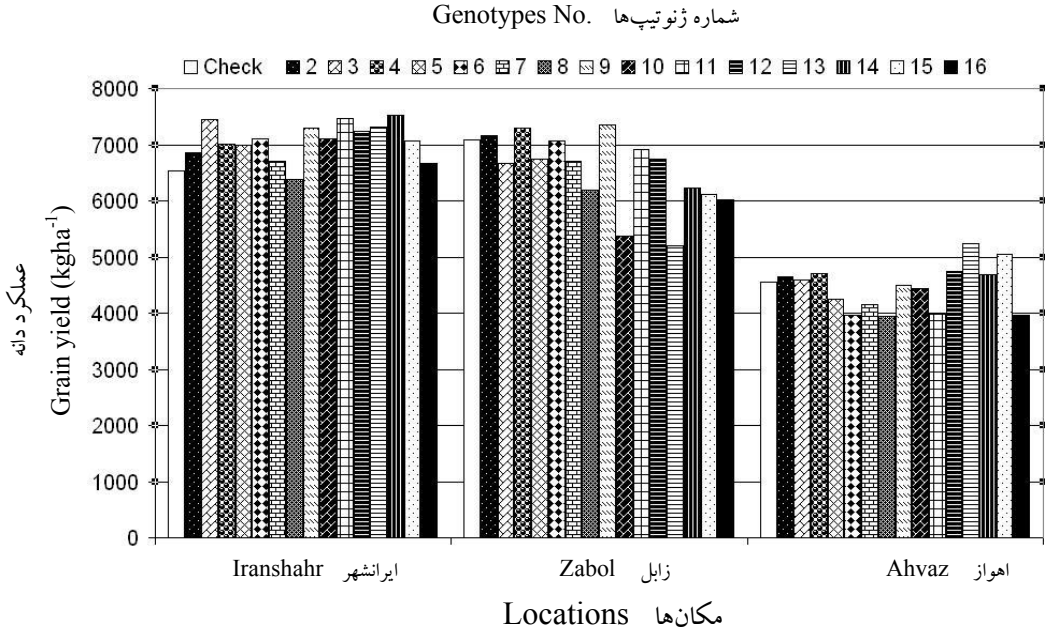
			میانگین مربعات MS	
S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df.	بدون تنش Non-stress	تنش خشکی انتهای فصل Terminal drought stress
Year(Y)	سال	1	129.32**	71.71**
Location (L)	مکان	2	187.11**	97.48**
Y × L	مکان × سال	2	45.63**	69.76**
Rep (YL)	تکرار درون سال و مکان	12	0.84	0.29
Genotype (G)	ژنوتیپ	15	1.40**	0.53*
G × Y	ژنوتیپ × سال	15	0.91**	1.14**
G × L	ژنوتیپ × مکان	30	1.26**	1.12**
G × Y × L	ژنوتیپ × سال × مکان	30	1.72**	1.85**
Error	خطا	180	0.37	0.27
CV (%)	ضریب تغییرات		10.00	11.00

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

**: Significant at the 1% probability leval.

عمدتاً ناشی از تفاوت میانگین ماهانه دما در ایستگاه‌های مذکور در طول فصل رشد گندم باشد دودیگ و همکاران (Dodig *et al.*, 2008) نیز در بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان را معنی‌دار گزارش کردند.

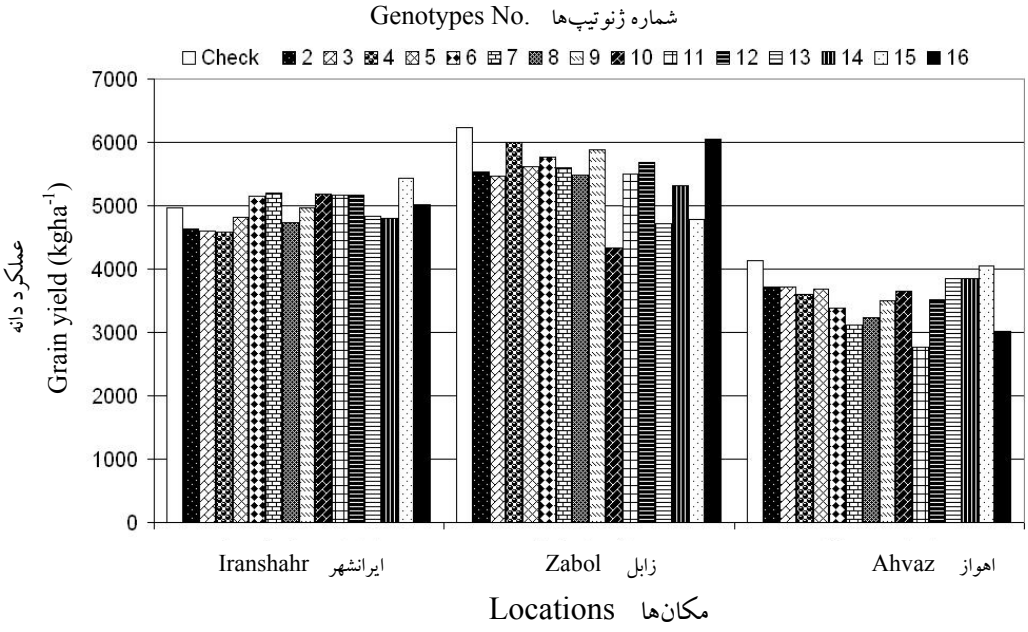
میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این تحقیق در اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در شرایط بدون تنش و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. میانگین عملکرد دانه در



شکل ۱- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط بدون تنش در مکان‌های مختلف آزمایش (اثر متقابل ژنوتیپ × مکان)

Fig. 1. Mean grain yield of bread wheat genotypes under non-stress condition in different locations of the experiment (genotype × location interaction)

برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود. For pedigree of genotypes see Table 1.



شکل ۲- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش خشکی انتهائی در مکان‌های مختلف آزمایش (اثر متقابل ژنوتیپ × مکان)

Fig. 2. Mean grain yield of bread wheat genotypes under terminal drought stress condition in different locations of the experiment (genotype × location interaction)

برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود. For pedigree of genotypes see Table 1.

شرایط بدون تنش خشکی در سه ایستگاه اهواز، زابل و ایرانشهر به ترتیب ۴۴۱۹، ۶۵۵۵ و ۷۰۴۵ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. در شرایط مذکور عملکرد دانه رقم چمران در ایستگاه‌های اهواز، زابل و ایرانشهر به ترتیب ۴۵۴۹، ۷۰۸۴ و ۶۵۳۵ کیلوگرم در هکتار بود. در ایستگاه اهواز بالاترین عملکرد دانه ۵۰۵۶ کیلوگرم در هکتار به لاین شماره ۱۵ تعلق داشت. در حالی که بالاترین عملکرد دانه در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر با میانگین ۷۵۳۰ و ۷۳۴۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب به لاین‌های شماره ۹ و ۱۴ اختصاص داشت (شکل ۱). به طور کلی عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در ایستگاه اهواز بیشتر بود. تفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این تحقیق در شرایط بدون تنش را می‌توان به تفاوت‌های ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها و شرایط محیطی ایستگاه ها به خصوص تغییرات دما که خود ناشی از تفاوت مختصات جغرافیایی است (جدول ۱)، و در حقیقت اثر متقابل این دو عامل نسبت داد.

در شرایط تنش خشکی پس از ظهور سنبله میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در ایستگاه‌های اهواز، زابل و ایرانشهر به ترتیب ۳۵۴۶، ۵۴۹۸ و ۴۹۵۴ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین رقم چمران در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب ۴۱۲۶، ۶۲۳۳ و ۴۹۶۷ کیلوگرم در هکتار براورد شد. در شرایط مذکور بالاترین علمرکد دانه در ایستگاه‌های اهواز و زابل به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۴۱۲۶ و ۶۲۳۳ کیلوگرم در هکتار به رقم چمران تعلق داشت، در حالی که در ایستگاه ایرانشهر بالاترین عملکرد دانه با ۵۴۴۰ کیلوگرم در هکتار به لاین شماره ۱۵ اختصاص داشت (شکل ۲).

اگرچه واکنش همه ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط تنش یکسان نبود، اما به طور کلی شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی باعث کاهش میانگین عملکرد دانه در ایستگاه‌ها و همچنین میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شد (شکل‌های ۱ و ۲). جمال و همکاران (Jamal *et al.*, 1996) و بلیدی و همکاران (Beladi *et al.*, 2012) نیز کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در اثر تنش خشکی را گزارش داده‌اند. تفاوت در واکنش ژنوتیپ‌های گندم به شرایط محیطی به برآیند عواملی نظیر مختصات جغرافیائی، دمای محیط، خصوصیات خاک و مدیریت‌های زراعی بستگی دارد (Finlay *et al.*, 2007؛ Lacaze and Roumet, 2004؛ Johansson *et al.*, 2003؛ Romagosa *et al.*, 2009).

با توجه به روش برآورد شدت تنش، پیشنهادی فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) و بر اساس میانگین عملکرد دانه در هر ایستگاه، شدت تنش در ایستگاه‌های اهواز، زابل و ایرانشهر به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۱۲ و ۰/۲۵ برآورد شد، که نشان‌دهنده کاهش نسبی بیشتر عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در

ایستگاه ایرانشهر در مقایسه با دو ایستگاه اهواز و زابل بود، کمترین میزان شدت تنش به ایستگاه زابل تعلق داشت. کاستیلو و همکاران (Castillo *et al.*, 2008) تفاوت در سازگاری و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای ژنوتیپ‌های گندم بهاره را به تفاوت‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌ها مرتبط دانستند. با توجه به تفاوت مختصات جغرافیائی ایستگاه‌های محل انجام تحقیق و در نتیجه تفاوت در دمای محیط در طول فصل رشد گندم و همچنین اختلاف در بافت خاک ایستگاه‌ها به نظر می‌رسد که در این تحقیق ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر از شرایط مطلوب‌تری نسبت به ایستگاه اهواز برخوردار بودند.

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون محدودیت آب و تنش خشکی پس از ظهور سنبله و شاخص‌های تحمل و حساسیت آن‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. میانگین عملکرد دانه رقم چمران در شرایط بدون محدودیت آب و تنش خشکی پایان فصل، به ترتیب ۶۰۵۶ و ۵۱۰۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. میانگین کل عملکرد دانه در شرایط مذکور به ترتیب ۶۰۰۶ و ۴۶۶۷ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون محدودیت آب، بالاترین عملکرد دانه با ۶۳۷۶ کیلوگرم در هکتار به لاین شماره ۹ تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی پایان فصل، عملکرد دانه هیچ یک از لاین‌های مورد بررسی از شاهد برتر نبود (جدول ۴).

در هر دو شرایط محیطی انجام این تحقیق کمترین و بیشترین میانگین رتبه به ترتیب به لاین‌های شماره ۶ و ۱۰ تعلق داشت. لاین‌های شماره ۱۶ و۳ به ترتیب با کمترین و بیشترین مقدار شاخص SSI به ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها ارزیابی شدند. متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بر پایه شاخص STI به ترتیب لاین شماره ۸ و رقم چمران بودند. بر اساس شاخص TOL، لاین شماره ۱۶ متحمل‌ترین و لاین‌های شماره ۳ و ۱۱ حساس‌ترین لاین‌ها ارزیابی شدند. بر پایه دو شاخص MP و GMP، رقم چمران و لاین شماره ۸ به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها ارزیابی شدند. بر اساس شاخص تحمل به تنش تغییر یافته (MSTI) برای شرایط محیطی با احتمال کم و زیاد در بروز تنش به ترتیب لاین شماره ۹ و رقم چمران به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها ارزیابی شدند. بر پایه شاخص عملکرد (YI) و میانگین هارمونیک (HM)، رقم چمران به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ ارزیابی شد. در ارزیابی ژنوتیپ‌ها با شاخص پایداری عملکرد (YSI)، تفکیک مشخصی از ژنوتیپ‌ها ارائه نشد، اما دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها با این شاخص شباهت بسیار زیادی با گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص حساسیت به تنش داشت. بر اساس شاخص ضریب تغییرات، رقم چمران به عنوان متحمل‌ترین و لاین شماره ۱۴ به

جدول ۴ – میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در هر یک از شرایط محیطی و شاخص‌های حساسیت و تحمل آن‌ها

Table 4. Mean grain yield of genotypes under each environmental condition and their susceptibility and tolerance indices

Genotype No.	Susceptibility and tolerance indices / شاخص‌های حساسیت و تحمل											شرایط محیطی Environmental conditions					
					MSTI							تنش خشکی انتهائی Terminal drought stress			بدون تنش آب Non-stress		
	CV	YSI	YI	HM	K_2STI	K_1STI	GMP	MP	TOL	SSI	STI	R_{str}	$\%C_{str}$	GY_{str} kgha^{-1}	R_{opt}	$\%C_{opt}$	GY_{opt} kgha^{-1}
(Check)	5.8	0.84	1.09	5542	1.03	0.87	5562	5583	947	0.71	0.86	4	100	5109	2	100	6056
2	9.4	0.74	0.99	5310	0.79	0.86	5368	5427	1589	1.16	0.80	5	91	4632	4	103	6221
3	10.6	0.74	0.98	5294	0.78	0.86	5356	5419	1646	1.20	0.80	10	90	4596	8	103	6242
4	7.1	0.75	1.01	5417	0.85	0.92	5475	5534	1607	1.15	0.83	6	93	4730	3	105	6337
5	17.3	0.79	1.01	5273	0.79	0.78	5312	5351	1285	0.97	0.78	13	92	4708	10	99	5993
6	19.8	0.79	1.02	5324	0.83	0.81	5363	5402	1295	0.97	0.80	1	93	4754	1	100	6049
7	16.9	0.79	0.99	5178	0.74	0.71	5213	5248	1210	0.94	0.75	9	91	4643	5	97	5853
8	11.4	0.81	0.96	4943	0.63	0.57	4969	4996	1023	0.84	0.68	11	88	4484	12	91	5507
9	16.7	0.75	1.02	5464	0.89	0.96	5521	5579	1595	1.14	0.85	3	94	4781	7	105	6376
10	16.8	0.78	0.94	4935	0.61	0.61	4973	5012	1246	1.01	0.69	16	86	4389	16	93	5635
11	19.0	0.73	0.96	5176	0.70	0.79	5240	5304	1646	1.22	0.76	8	88	4481	6	101	6127
12	13.3	0.77	1.03	5417	0.87	0.90	5465	5514	1457	1.06	0.83	7	94	4785	9	103	6242
13	16.1	0.78	0.96	5002	0.64	0.63	5039	5076	1224	0.98	0.70	14	87	4464	14	94	5688
14	36.1	0.76	1.00	5296	0.79	0.83	5348	5400	1493	1.10	0.79	12	91	4653	13	101	6146
15	12.3	0.78	1.02	5339	0.83	0.82	5379	5419	1316	0.98	0.80	15	93	4761	15	100	6077
16	11.1	0.85	1.00	5083	0.73	0.61	5101	5120	859	0.70	0.72	2	92	4690	11	92	5549
Mean	15.0	0.78	1.00	5250	0.78	0.78	5293	5337	1340	1.01	0.78	8.5	91	4667	8.5	99	6006

GY، C، R، STI، SSI، TOL، MP، GMP، MSTI، HM، YI، YSI و CV : علائم اختصاری به ترتیب برای عملکرد دانه، نسبت عملکرد دانه هر ژنوتیپ به شاهد، میانگین رتبه، شاخص تحمل تنش، شاخص حساسیت به تنش، میانگین تولید، میانگین هندسی عملکرد دانه، شاخص تحمل تنش تغییرشکل یافته، میانگین هارمونیک، شاخص عملکرد، شاخص پایداری عملکرد و ضریب تغییرات.

GY, C, R, STI, SSI, MP, GMP, MST, HM, YI, YSI and CV: Abbreviations for grain yield, proportion of grain yield of each genotype to check, mean of ranking, stress tolerance index, stress susceptibility index, tolerance, mean productivity, geometric mean productivity, modified stress tolerance index, harmonic mean, yield index yield stability index, and coefficient of variation respectively.

برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For pedigree of genotypes see Table 1.

عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها ارزیابی شدند (جدول ۴).

برخی از ژنوتیپ‌ها که با شاخص حساسیت به تنش از ژنوتیپ‌های متحمل بودند، با شاخص تحمل به تنش به عنوان ژنوتیپ‌های حساس ارزیابی شدند. در شاخص حساسیت به تنش، ممکن است ژنوتیپ‌هائی با پتانسیل عملکرد پائین و فقط به دلیل تغییرات عملکرد کم آن‌ها در شرایط تنش، متحمل ارزیابی شوند، ویا ژنوتیپ‌هائی با SSI یکسان، دارای عکس العمل متفاوت نسبت به شرایط تنش باشند (رقم چمران و لاین شماره ۱۶). بر پایه شاخص STI نیز ممکن است دو ژنوتیپ با پتانسیل عملکرد دانه و تفاوت عملکرد دانه متفاوت در شرایط مطلوب و تنش‌دار از نظر تحمل تنش، یکسان ارزیابی شوند (لاین‌های شماره ۲ و ۶) از نظر تحمل تنش، یکسان ارزیابی شوند. پایداری عملکرد دانه بر اساس شاخص ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) از این قابلیت برخودار است که عملکرد ژنوتیپ‌ها را براساس دامنه‌ای از محیط‌های مختلف ارزیابی می‌کند، اما به دلیل این‌که در دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها با این شاخص، باید انحراف معیار و ضریب تشخیص نیز در نظر گرفته شوند، ممکن باعث نوعی سردرگمی در انتخاب ژنوتیپ‌ها شود. دودیگ و همکاران (Dodig *et al.*, 2008) شاخص میانگین عملکرد دانه را به عنوان معیار انتخاب ژنوتیپ‌های گندم را در شرایط تنش معرفی کردند.

بیشترین میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون محدودیت آب و بالاترین شاخص حساسیت به تنش کمبود آب پایان فصل به لاین‌های شماره ۴، ۹ و ۱۲ تعلق داشت (جدول ۴)، با وجود حساسیت بیشتر این لاین‌ها، عملکرد دانه آن‌ها در شرایط تنش خشکی پایان فصل به جز رقم چمران، از سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بالاتر بود. بر اساس نتایج این تحقیق، تفکیک ژنوتیپ‌های مورد بررسی با شاخص تحمل تنش تغییر یافته به نتایج دقیق‌تری منجر شد، زیرا با وجود بالاترین شاخص حساسیت به تنش این لاین‌ها و عدم هماهنگی در تفکیک آن‌ها بر اساس سایر شاخص‌ها، فقط دو شاخص K_1STI و K_2STI ارزیابی دقیق‌تری از عکس‌العمل این لاین‌ها ارائه داد. کارائی بالاتر دو شاخص K_1STI و K_2STI برای تفکیک مطلوب‌تر ژنوتیپ‌ها توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Farshadfar and Sutka, 2002؛ Anwar *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد همچنان‌که نوری و همکاران (Nouri *et al.*, 2011) بیان داشتند برای کارائی بیشتر در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم، باید ژنوتیپ‌ها بر اساس دو یا چند شاخص غیرهمراستا مورد ارزیابی و گزینش قرار گیرند.

همبستگی عملکرد دانه با شاخص‌های

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌های ارزیابی کننده تحمل ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش

Table 5. Correlation coefficients between grain yield and drought tolerance evaluating indices

	1.GMP	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2. MP	0.99**													
3. TOL	0.43ns	0.49*												
4. SSI	0.27ns	0.33ns	0.98**											
5. STI	0.99**	0.99**	0.43ns	0.27ns										
6. Rstr	0.48ns	-0.46ns	0.02ns	0.13ns	-0.49ns									
7. Ystr	0.82**	0.78**	-0.15ns	-0.32ns	0.82**	-0.57*								
8. Cstr	0.81**	0.77**	0.17ns	0.34ns	0.81**	0.54**	0.99**							
9. Yopt	0.89**	0.92**	0.80**	0.68**	0.89**	-0.31ns	0.48ns	0.46ns						
10. K_2STI	0.94**	0.91**	0.11ns	0.06ns	0.94**	0.53*	0.96**	0.96**	0.68**					
11. K_1STI	0.96**	0.98**	0.66**	0.52**	0.96**	-0.40ns	0.64**	0.62**	0.98**	0.81**				
12. CV	-0.13ns	-0.11ns	0.21ns	0.26ns	-0.14ns	0.26ns	-0.30ns	0.28ns	0.02ns	-0.23ns	-0.05ns			
13.YSI	-0.26ns	-0.32ns	-0.97**	-0.99**	-0.26ns	-0.16ns	0.33ns	0.35ns	-0.66**	0.08ns	-0.51**	-0.24ns		
14. YI	0.81**	0.77**	-0.17ns	-0.33ns	0.81**	0.51*	0.99**	0.99**	0.46ns	0.95**	0.62**	0.24ns	0.34ns	
15. HM	0.99**	0.99**	0.37ns	0.20ns	0.99**	0.49*	0.86**	0.85**	0.85**	0.96**	0.94**	-0.15ns	-0.19ns	0.86**

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

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

GY، C، R، STI، SSI، TOL، MP، GMP، MSTI، HM،YI، YSIو CV : علائم اختصاری به ترتیب برای عملکرد دانه، نسبت عملکرد دانه هر ژنوتیپ به شاهد، میانگین رتبه، شاخص تحمل تنش، شاخص حساسیت به تنش، میانگین تولید، میانگین هندسی عملکرد دانه، شاخص تحمل تنش تغییرشکل یافته، میانگین هارمونیک، شاخص عملکرد، شاخص پایداری عملکرد و ضریب تغییرات.

GY, C, R, STI, SSI, MP, GMP, MST, HM, YI, YSI and CV: Abbreviations for grain yield, proportion of grain yield of each genotype to check, mean of ranking, stress tolerance index, stress susceptibility index, tolerance, mean productivity, geometric mean productivity, modified stress tolerance index, harmonic mean, yield index yield stability index, and coefficient of variation respectively.

حساسیت و تحمل در جدول ۵ نشان داده شده است. در شرایط بدون محدودیت آب، همبستگی عملکرد دانه با شاخص‌های MP، GMP، STI و K_1STI مثبت و معنی‌دار و با میانگین رتبه و شاخص‌های TOL و SSI منفی و معنی‌دار بود (جدول۵). همبستگی منفی عملکرد دانه با شاخص‌های TOL و SSI نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌های پرپتانسیل به کمبود آب پایان فصل ارزیابی می‌شود. در شرایط تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، همبستگی عملکرد دانه با شاخص‌های MP، GMP، STI، K_1STI، K_2STI و YIمثبت و معنی دار و با میانگین رتبه، TOL وSSI منفی و معنی‌دار بود.

کاراتر بودن سه شاخص STI، GMP و MP برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش به وسیله محققین دیگر نیز گزارش شده است (Nouri *et al.*, 2011؛ Talebi *et al.*, 2009؛ Goladadi *et al.*, 2006).

برخی محققین بر این عقیده‌اند که برای شرایط تنش، انتخاب غیرمستقیم ژنوتیپ‌های پرپتانسیل گندم در شرایط بدون محدودیت آب، از گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی سودمندتر است (Richards *et al.*, 2011؛ Kandic *et al.*, 2009؛ Jamal *et al.*, 1996)، اما باید توجه داشت این‌گونه گزینش‌ها به شدت تنش محیطی نیز بستگی دارد و احتمالاً فقط در شرایط تنش‌های ملایم قابل استفاده است. گیوتری و همکاران (Gutteri *et al.*, 2001) بیان داشتند که با افزایش شدت تنش درجه موفقیت برای انتخاب غیرمستقیم کاهش می‌یابد.

یکی از اهداف راهبردی در برنامه‌های به نژادی در گندم به عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی، در مناطق تنش‌دار از جمله اقلیم گرم جنوب کشور، معرفی ژنوتیپ‌هائی است که ضمن برخورداری از عملکرد بالا پایداری عملکرد دانه آن‌ها در پاسخ به تغییرات شرایط محیطی نیز بالا باشد. موفقیت در انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب برای کشت در شرایط تنش خشکی پایان فصل به شدت و سختی تنش بستگی دارد. این‌گونه گزینش‌ها فقط در شرایط تنش‌های محیطی ملایم می‌توانند به عنوان یک مسیر میان‌بر مورد توجه قرار گیرند. بر اساس نتایج این تحقیق لاین‌های شماره ۴، ۹ و۱۲ ضمن آن‌که از پتانسیل عملکرد بالائی در شرایط بدون محدودیت آب برخوردار بودند، به استثنای رقم چمران، عملکرد دانه بالاتری نیز نسبت به سایر لاین‌ها داشتند.

References

Ali, M., Jensen, C. R., Mogensen,V. O., and Anderson, M. N. 2001. Root signaling

and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. Field Crops Research 62: 35-52.

Anwar, J., Subhani, G. M., Hussain, M., Ahmad, J., Hussian, M., and Munir, M. 2011. Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes. Pakistan Journal of Botany 43(3): 1527-1530.

Beladi, A., Hadjel, M., and Hassini, N. 2012. Effect of drought on winter wheat yield in a semi-arid region. pp. 301-307. In: Gastescu, P., Lewis, Jr, W., and Etro Bretcan, P. (eds.) Water Resources and Wetlands. Proceedings of a Symposium on Wheat, 14-16 September, Tulcea, Romania.

Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.

Castillo, D., Matus, I., Del Pozo, A., Madariaga, R., and Mell, M. 2008. Adaptability and genotype × environment interaction of spring wheat cultivars in Chile using regression analysis, AMMI and SPEG. Chilean Journal of Agricultural Research 72 (2): 167-174.

Dodig, D., Zoric, M., Knezevic, D., King, S. R., and Surlan-Momirovic. G. 2008. Genotype × environment interaction for wheat yield in different drought stress conditions and agronomic traits suitable for selection. Australian Journal of Agricultural Research 59(6): 536–545.

Eberhat, S. A., and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varities. Crop Science 6: 36-40.

Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. Cereal Research 31: 33-39.

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 Vegetables and other Crop in Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanbua, Taiwan.

Finlay, G. J., Bullock, P. R., Sapirstein, H. D., Naeem, H. A., Hussain, A., Angadi, S. V., and Depauw, R. M. 2007. Genotypic and environmental variation in grain, flour, dough and bread-making characteristics of western Canadian spring wheat. Canadian Journal of Plant Science 87: 679-690.

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

Francis, T. R., and Kannenberg, L. W. 1978. Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. Candian Journal of Plant Science 58: 1029-1034.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi G. L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Candian Journal Plant Science 77: 523-531.

Golabadi, M., Arzani, A., and Maibody, S. 2006. Assessment of drought tolerance in segregation populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research 5: 162-171.

Guttieri, M. J., Stark, J. C., Brien, K., and Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science 41: 327-335.

Jamal, M., Nazir, M. S., Shah, S. H., and Ahmad, N. 1996. Virtual response of wheat to water stress at different growth stages. Cereal Newsletter 15 (1-2): 38-45.

Johansson, E., Prieto-Linde, M. L., Svensson, G., and Jonsson, J. O. 2003. Influences of cultivar, cultivation year and fertilizer rate on amount of protein groups and amount and size distribution of mono and polymeric proteins in wheat. Journal of Agricultural Science 140: 275-284.

Kandic, V., Dodig, D., Jovic, M., Nikolic, B., and Prodanovic, S. 2009. The importance of physiological traits in wheat breeding under irrigation and drought stress. Genetika 41(1): 11 -20.

Kristin, A. S., Senra, R. R., Perez, F. I., Enriquez, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallego, P. R., Wassimi N., and Kelley, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.

Lacaze, X., and Roumet, P. 2004. Environment characterization for the interpretation of environmental effect and and genotype × environment interaction. Theoretical and Applied Genetics 109: 1632-1640.

Leilah, A. A., and AL-Khateeb, S. A. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. Journal of Arid Environments 61: 483-496.

Levitt, J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stress. Vol. 21, Water, Radiation,

Salt and other Stress. Academic Press. New York, USA. 607 pp.

Naderi, A., Majidi-Heravan, E., Hashemi-Dezfuli, A., Rezaie, A., and Nour-Mohammadi, G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Seed and Plant 15 (4): 390-402 (in Persian).

Nouri, A., Etminan, A., Jaime, A., Da-Silva, T., and Mohammadi, R. 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. *durum* Desf.). Australian Journal of Crop Science 5(1): 8-16.

Rain, J., Moheshwari, M., and Nagaranjan, S. 2001. Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of wheat. Plant Physiology 6 (1): 53-60.

Richards, R. A., Condon, A. G., and Rebetzke, G. J. 2001. Traits to improve yield in dry environments. pp. 88-100. In: Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, I., and Mcnab, A. (eds.) Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT, Mexico D. F.

Romagosa, I., Van Eeuwikj, F. A., and Thomas, W. T. 2009. Statistical analyses of genotype by environment data. pp. 1-39. In: Carena, M. J. (ed.) Cereals. Springer Science, Fargo, ND, USA.

Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in strss and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.

Talebi, R., Fayaz, F., and Naji, A. M. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat. General and Applied Plant Physiology 35(1-2): 64-74.