

اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و بررسی پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان در مناطق گرم و خشک جنوب ایران

Genotype × Environment Interaction and Stability of Grain Yield of Bread Wheat Genotypes in Dry and Warm Areas of Iran

محسن اسماعیل‌زاده مقدم^۱، مهدی زکی‌زاده^۲، حسین اکبری‌مقدم^۳،
محمد عابدینی اسفهلانی^۴، منوچهر سیاح‌فر^۵، احمدرضا نیکزاد^۶،
سید محمود طیب‌غفاری^۷ و غلامعباس لطفعلی آینه^۸

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج
۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه
۳- ۸- مربی، به ترتیب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان (زابل)، سمنان (شاهرود)،
لرستان (خرم‌آباد)، فارس (زرقان)، دزفول (صفی‌آباد) و خوزستان (اهواز)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۲۸

چکیده

اسماعیل‌زاده، م.، زکی‌زاده، م.، اکبری‌مقدم، ح.، عابدینی اسفهلانی، م.، سیاح، م.، نیکزاد، ا.، ر.، طیب‌غفاری، س. م.، و لطفعلی آینه، غ. ۱۳۹۰. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و بررسی پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم نان در مناطق گرم و خشک جنوب ایران. *مجله به‌نژادی نهال و بذر* ۲۷-۲۲: ۲۵۷-۲۷۲.

برای تعیین پایداری عملکرد در ارقام و لاین‌های گندم نان ویژه مناطق گرم و خشک کشور، ۱۸ لاین در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار همراه با یک رقم شاهد (چمران) در شش ایستگاه تحقیقاتی مناطق گرم جنوب کشور شامل اهواز، زابل، دزفول، داراب، ایرانشهر و خرم‌آباد و در دو سال زراعی (۸۶-۱۳۸۴) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل سال × مکان و سال × مکان × ژنوتیپ به ترتیب در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار بودند. بر اساس نتایج تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بر پایه روش غیر پارامتری میانگین رتبه عملکرد دانه، روش رگرسیونی ابرهارت و راسل، روش اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا، روش گزینش همزمان (Y_{si})، روش‌های AMMI و SHMM، ژنوتیپ شماره ۱۱ (Weebill 1) جزء لاین‌های پایدار تشخیص داده شد. در این آزمایش با توجه به قابلیت روش‌های AMMI و SHMM، این دو روش جهت بهره‌برداری در تعیین ژنوتیپ‌های پایدار از جنبه عملکرد دانه پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: گندم نان، عملکرد دانه، پایداری، سازگاری، مناطق گرم و خشک.

مقدمه

اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در فرآیند آزادسازی لاین‌های جدید حایز اهمیت است، به طوری که ارزیابی لاین‌های جدید در یک سری آزمایش‌های یکنواخت به منظور شناسایی درجه سازگاری آن‌ها به شرایط متفاوت محیطی مهم است (Jarrah and Geng, 1997).

پایداری عملکرد به توانایی ژنوتیپ‌های گیاهی در بروز ظرفیت عملکرد در دامنه وسیعی از محیط‌ها اطلاق می‌شود. کشت آن‌ها در اقلیم مورد آزمایش طی سال‌ها و مکان‌های مختلف به عنوان نمونه‌ای از محیط‌ها، موجب تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌های با اثر متقابل ژنوتیپ × محیط کمتر گزینش می‌شوند. پایداری عملکرد به حداقل خسارت ناشی از تغییرات اقلیمی، تنش یا آفات نیز اطلاق می‌شود. (Phoelman and Sleper, 1996).

گاهی به جای پایداری عملکرد از واژه انعطاف‌پذیری فنوتیپی نیز استفاده می‌شود. پایداری عملکرد به ساختار ژنتیکی یا عکس‌العمل ژنوتیپ‌های فردی یا گروهی وابسته است. پایداری نتیجه اثر متقابل رقم و عوامل محیطی بوده و برآیند این واکنش با ساختار ژنتیکی رقم و شدت عوامل محیطی به خصوص عوامل محدودکننده محیط وابسته است (Falconer, 1985).

در اصلاح نباتات، به‌نژادگران گیاهان را بر مبنای فنوتیپ آن‌ها گزینش می‌کنند، در نتیجه

تأثیر گزینش به مقدار زیادی به آن قسمت از فنوتیپی بستگی دارد که متأثر از ژنوتیپ است. بنابراین برای آن‌ها میزان تأثیر محیط روی صفات کمی اهمیت زیادی دارد (Hayword *et al.*, 1993).

روم—اگوزا و ف—اکس (Romagosa and Fox, 1993) روش‌های ارزیابی پایداری زراعی را در چهار گروه شامل روش‌های تجزیه واریانس، روش‌های رگرسیونی، روش‌های غیرپارامتری و روش‌های چند متغیره گروه‌بندی کردند. لین و بینز (Lin and Binns, 1991) نیز ضمن مقایسه روش‌های مختلف پایداری فنوتیپی و ارزیابی کارایی آن‌ها، گروه‌بندی مشابهی را ارائه داده‌اند.

روش AMMI¹ ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مولفه‌های اصلی است، که از آن برای تجزیه و تحلیل مطالعات سازگاری استفاده می‌شود. در این روش با استفاده از تجزیه واریانس، اثر اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط برآورد شده (اثر اصلی جمع‌پذیر) و سپس با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (اثر متقابل ضرب‌پذیر) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. ژنوتیپ‌های پایدار براساس این روش با نمودار پلات دو مولفه اصلی که بیشترین تغییرات را توجیه می‌کند، تعیین می‌شود (Clay and Dombek, 1995)؛

1. Additive mean effects and multiplicative interactions model

(Gauch, 1990).

مواد و روش‌ها

در این بررسی تعداد ۱۹ لاین و رقم پیشرفته گندم نان با احتساب رقم شاهد (چمران) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی اهواز، دزفول، خرم‌آباد، داراب، ابرانشهر و زابل به مدت دو سال زراعی (۱۳۸۶-۱۳۸۴) مورد بررسی قرار گرفتند. کلیه ایستگاه‌های مذکور جزء گروه مناطق گرم و خشک کشور محسوب می‌شوند. نظر به این که آزمایش‌ها در دو سال و در شش مکان انجام شدند، جمعاً ۱۲ محیط در کل آزمایش‌ها وجود داشت. سال‌ها و مکان‌ها و در نتیجه محیط‌ها به عنوان فاکتورهای تصادفی و رقم به عنوان فاکتور ثابت در نظر گرفته شد.

طول واحدهای آزمایشی شش متر و عرض آن‌ها ۱/۲۰ متر بود و مساحت هر واحد آزمایشی برابر با ۷/۲۰ مترمربع لحاظ شد. تاریخ کاشت در ایستگاه‌های ذکر شده اول آذر ماه هر سال و عملیات کاشت به کمک بذر کار آزمایشی ویتراشتایگر انجام شد.

تجزیه و تحلیل‌های این مطالعه مطابق مراحل زیر انجام شد:

- ۱) تجزیه واریانس مرکب ارقام برای بررسی اثر اصلی، متقابل دوگانه و سه‌گانه، انجام شد.
- ۲) تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از روش ابره‌ارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) و مطابق مدل پیشنهادی این محققین انجام شد.

۳) شاخص‌های پایداری اکووالانس ریک

نجفیان و همکاران (Najafian et al., 2010) با استفاده از روش AMMI، ژنوتیپ‌های پایدار را در مطالعه خود تعیین و اظهار داشته‌اند که روش فوق‌الذکر می‌تواند در تعیین ژنوتیپ‌های حایز سازگاری عمومی و خصوصی برای مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

دو روش ضرب‌پذیر در مطالعات اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها توسط کورنلیوس (Cornelius, 1993) پیشنهاد شده است که شامل مدل ضرب‌پذیر تغییر یافته^۱ (SHMM) و مدل رگرسیون مکانی^۲ (SREG) است (Cornelius et al., 1996)؛ در روش (Seyedsadr and Cornelius, 1992). در روش SHMM محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها بر پایه کمترین حداکثر درست‌نمایی^۳ گروه‌بندی شده و بر مبنای شکل ارایه شده می‌توان ژنوتیپ‌های پایدار را مشخص کرد (Yan et al., 2009)؛ (Seyedsadr and Cornelius, 1992)؛ (Crosa et al., 2002).

هدف از این مطالعه، تعیین ژنوتیپ‌های پایدار برای اقلیم گرم و خشک جنوب ایران بر پایه هر یک از روش‌های تجزیه و تحلیل پایداری و تعیین کارایی روش‌های مبتنی بر گراف بود.

1. Shifted multiplicative models cluster analysis
2. Site regression model
3. Maximum likelihood

با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS (Einspruch, 2005) و SAS (2000) انجام شد.

نتایج و بحث

نام و شجره لاین‌های پیشرفته و ارقام آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب دو ساله عملکرد دانه در مناطق مورد مطالعه نشان داد که اثر متقابل مکان \times سال و ژنوتیپ \times مکان \times سال به ترتیب در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار هستند (جدول ۲). معنی‌دار بودن اثر متقابل مکان \times سال، نشان‌دهنده تفاوت بین مکان‌ها از سالی به سال دیگر بود. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ \times مکان \times سال چنین به نظر می‌رسد که بین عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف در طی سال‌های مختلف و در هر یک از مکان‌های مورد بررسی اختلاف وجود دارد. میانگین مربعات سال معنی‌دار بود و نشان داد که در سال‌های مختلف عملکرد ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در مناطق مختلف تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. اما اثر متقابل ژنوتیپ \times سال معنی‌دار نبود که مبین آن بود که بین میانگین ژنوتیپ‌ها از سالی به سال دیگر (در متوسط مکان‌ها) اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل مکان \times سال و ژنوتیپ \times مکان \times سال می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف در نوسان بوده و برای بررسی دقیق‌تر این اثر متقابل

(Wricke, 1962) و واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) برای همه ژنوتیپ‌ها تعیین شد.

۴) بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش غیرپارامتری بر پایه میانگین و انحراف معیار رتبه برای دو سال زراعی و میانگین آن‌ها انجام شد. بدین منظور رتبه هر ژنوتیپ از نظر میانگین عملکرد در مجموع ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای هر آزمایش تعیین شد و سپس میانگین رتبه (\bar{R}) و انحراف معیار آن (Standard Deviation of Rank: SDR) محاسبه شد. نسبت شاخص عملکرد (Yield Index Ratio: YIR) برای هر ژنوتیپ و برای تمام مکان‌ها و سال‌ها به عنوان معیار دیگری از پایداری عملکرد تعیین شد.

بدین منظور میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در تمام محیط‌ها به متوسط کل عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها تقسیم و به صورت درصد نشان داده شد (Fox and Rosielle, 1982).

۵) پایداری ژنوتیپ‌ها بر مبنای روش گزینش همزمان (Y_{si}) نیز محاسبه شد. برای این منظور از روش پیشنهادی کانگ (Kang, 1993) استفاده شد.

۶) تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها براساس مدل AMMI و رسم گراف‌های مربوط به آن انجام شد (Cornelius, 1993).

۷) معیار پایداری و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس مدل SHMM نیز انجام شد (Seyedsadr and Cornelius, 1992).

کلید محاسبات آماری این مطالعه

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های مورد استفاده در این آزمایش
Table 1. Name and pedigree of cultivars and lines used in this study

شماره رقم Entry No.	نام و شجره Name and pedigree
1	Chamran (Check)
2	Bow"s"/CM34798/3/Snb/Pewee"s"/Snb/Mus
3	KASYON/GENARO.81//TEVEE-1
4	KAUZ/AA//KAUZ
5	Kauz/Weaver
6	MILAN/3/JUP/BJY//URES
7	SERI/NKT//2*KAUZ
8	ATTILA*2/PBW65
9	KAUZ/PASTOR
10	VEE/TRAP#1//VEE/JUN/3//KAUZ
11	WEEBILL1
12	CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
13	ATTILA*2/STAR
14	PASTOR/3//KAUZ*2//OPATA//KAUZ
15	PASTOR/KAUZ
16	CIRCUS
17	VEE#8//JUP/BJY/3/F3.71/TRM/4/BCN/5//KAUZ
18	SITE/MO/3//VORONA/BAU//BAU
19	ATTILA*2/PBW65

لاین‌های ۸ و ۱۹ لاین‌های خواهری هستند که از یک برنامه تلاقی حاصل شده‌اند.

Lines No. 8 and 19 are sisterlines.

رتبه پایین پایدارترین ژنوتیپ از نظر این روش بود. ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۱۴ و ۱۶ نیز به ترتیب با داشتن میانگین و انحراف معیار رتبه کمتر پس از ژنوتیپ شماره ۱۱ قرار گرفتند. از نظر روش موردنظر، ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۵، ۱۹ و ۹ با اختصاص بالاترین میانگین رتبه و انحراف معیار آن از پایداری عملکرد دانه ضعیف‌تری برخوردار بودند. مقادیر مربوط به نسبت شاخص عملکرد که بر پایه میانگین نتایج

و تعیین ژنوتیپ‌های سازگار در شرایط محیطی مختلف، تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها برای ایستگاه‌ها و سال‌های مختلف این مطالعه انجام شد.

جدول ۳ مقادیر میانگین و انحراف معیار رتبه ژنوتیپ‌ها را در شش مکان و دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۴ نشان می‌دهد. ژنوتیپ شماره ۱۱ در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، با اختصاص کمترین میانگین رتبه و انحراف معیار

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در مناطق مختلف در دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۴
Table 2. Combined analysis of variance for grain yield of bread wheat genotypes at different locations in 2005-2007 cropping seasons

S.O.V.	منابع تغییرات	df.	میانگین مربعات MS
Year (Y)	سال	1	954.773 ^{**}
Location (L)	مکان	5	26.650 [*]
Y×L	مکان × سال	5	5.065 ^{**}
Replication (Y×L)	تکرار (سال × مکان)	24	0.877
Genotype (G)	ژنوتیپ	18	0.768
Y×G	ژنوتیپ × سال	18	0.254
L×G	مکان × ژنوتیپ	90	0.577
Y×L×G	ژنوتیپ × سال × مکان	90	0.470 [*]
Error	اشتباه	432	0.335

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

* and ** : Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

۱۱، ۱۳، ۱۴، ۲ و ۳ در گروه پایدار قرار گرفتند. در این روش غیرپارامتری ژنوتیپ‌ها قابل گروه‌بندی برای سازگاری عمومی و سازگاری‌های خصوصی نیستند و این موضوع به عنوان مشکل اساسی این روش به شمار می‌رود. به هر حال با توجه به ساده بودن این روش در آزمایش‌هائی از قبیل آزمایش‌های ژنوتیپ × سال و یا ژنوتیپ × مکان می‌توان با استفاده از این روش گزینش مطلوبی را برای ژنوتیپ‌های پایدار انجام داد. بکر و لئون (Becker and Leon, 1988) آزمون‌هایی را برای اثر متقابل رتبه‌ارایه و مشخص کردند که یک ژنوتیپ وقتی پایدار شناخته می‌شود که رتبه آن در محیط‌های مختلف ثابت باشد. نتایج تجزیه میانگین مربعات براساس روش

دو سال زراعی محاسبه شده و در جدول ۳ درج شده است، معیار غیر پارامتری دیگری است که بر پایه آن ژنوتیپ شماره ۱۱ با اختصاص بالاترین نسبت شاخص عملکرد (۱۰۶/۰ درصد) در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بهترین ژنوتیپ بر پایه این معیار بود. ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۴، ۲ و ۳ پس از ژنوتیپ شماره ۱۱ در مکان بعدی از جنبه پایداری عملکرد قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۴ و ۵ که از نسبت شاخص عملکرد پائینی برخوردار بودند، ناپایدار تلقی شدند. این شاخص که منحصراً بر پایه میانگین عملکرد، ژنوتیپ‌ها را گروه‌بندی می‌کند، می‌تواند مکمل دو معیار میانگین رتبه و انحراف معیار آن در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار باشد. در مجموع سه معیار، ژنوتیپ‌های شماره

جدول ۳- پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم نان مبتنی بر روش های غیر پارامتریک میانگین رتبه در مکان های مورد مطالعه در دو سال زراعی (۸۶-۱۳۸۴)

Table 3. Stability analysis of grain yield in bread wheat genotypes based on non-parametric mean of ranks in locations and years (2005-2007)

شماره ژنوتیپ Genotype No.	Locations مکان ها						میانگین عملکرد دانه Mean grain yield (tha ⁻¹)	میانگین رتبه های عملکرد Mean rank of yield	انحراف معیار رتبه های عملکرد Standard deviation for rank of yield	نسبت شاخص عملکرد Yield index ratio
	اهواز Ahvaz	دز فول Dezful	خرم آباد Khorramabad	داراب Darab	ایران شهر Iranshahr	زابل Zabol				
1	5.901	5.261	7.167	6.718	5.986	6.046	6.180	7.08	4.400	100.9
2	5.653	4.921	6.931	6.947	6.337	6.415	6.201	8.83	5.638	101.2
3	5.600	5.132	7.309	6.949	6.146	6.505	6.274	8.42	5.435	102.4
4	5.786	4.745	6.413	6.926	5.814	5.617	5.884	9.75	6.797	96.0
5	5.522	5.188	6.377	7.014	5.956	5.565	5.937	11.67	4.942	96.9
6	5.997	5.232	6.740	6.774	6.240	6.360	6.224	9.25	4.070	101.6
7	6.217	4.814	6.928	6.645	6.612	5.696	6.152	10.33	6.583	100.4
8	5.883	5.404	7.001	6.054	5.839	6.240	6.070	11.00	5.309	99.1
9	5.195	5.445	7.010	6.960	5.314	5.910	5.972	11.42	6.007	97.5
10	4.845	4.866	6.607	7.003	6.008	6.426	5.959	11.25	5.675	97.3
11	6.364	5.411	7.540	6.993	5.875	6.768	6.492	6.00	4.000	106.0
12	5.750	5.203	6.855	6.169	5.794	6.766	6.090	11.00	4.452	99.4
13	6.061	5.734	7.661	6.053	6.002	6.935	6.408	7.42	6.515	104.6
14	5.720	5.907	7.263	7.163	5.761	6.639	6.409	8.42	5.977	104.6
15	5.158	4.935	7.585	7.054	5.387	6.433	6.092	11.33	5.399	99.4
16	5.778	5.432	6.539	6.685	5.713	6.511	6.110	11.08	3.942	99.7
17	5.425	5.039	5.836	6.222	5.765	5.988	5.713	14.08	4.441	93.3
18	5.439	5.689	6.209	6.714	5.516	7.268	6.139	10.33	6.228	100.2
19	5.903	4.872	7.302	6.567	5.937	6.077	6.110	11.50	4.890	99.7

برای نام ژنوتیپ ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For genotype names see Table 1.

عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۳ و ۱۸ به واسطه داشتن بیشترین ضریب اکووالانس و در نتیجه سهم بیشتر در مقدار اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ناپایدار بودند. واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مرتبط با روش پایداری شوکلا نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۶ و ۱۶ به واسطه اختصاص کمترین واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بوده‌اند. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۳ و ۱۸ به واسطه داشتن بیشترین واریانس، از پایداری چندانی برخوردار نبودند (جدول ۴). مقایسه دو معیار نشان می‌دهد که گزینش ژنوتیپ‌ها بر پایه این دو معیار تا حد قابل توجهی مشابه بوده و همبستگی بالایی بین این دو معیار وجود دارد. مقایسه نتایج اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا با نتایج مبتنی بر معیارهای غیر پارامتریک میانگین رتبه و انحراف معیار آن و نسبت شاخص عملکرد نیز حاکی از آن بود که گرچه همبستگی بالایی بین نتایج این روش‌ها نیست، اما همه معیارها توانسته‌اند ژنوتیپ شماره ۱۱ را به عنوان پایدارترین ژنوتیپ گزینش و معرفی کنند.

بر مبنای گزینش همزمان برای عملکرد دانه و پایداری (Y_{si})، ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۱۴ به ترتیب با $Y_{si}=21$ و $Y_{si}=20$ ، جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵). ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۶، ۱۶ و ۱۹، از جنبه این معیار در مراتب بعدی پایداری قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های پایدار

رگرسیونی ابره‌ارت و راسل F معنی‌داری را برای ژنوتیپ‌ها نشان داد که حاکی از وجود تنوع ژنتیکی وسیع در بین ژنوتیپ‌ها بود. همچنین معنی‌دار بودن F برای اثر محیط خطی نشان دهنده رگرسیون خطی قابل ملاحظه‌ای بین عملکرد هر محیط و شاخص محیطی بود. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط خطی غیرمعنی‌دار شد و نشان داد که در محیط‌های یکنواخت‌تر، واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها، نزدیک‌تر است. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون (S^2d_i) ژنوتیپ‌ها، به طور قطع نمی‌توان گفت که روش مذکور در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار موثر باشد. با وجود این، ژنوتیپ شماره ۱۱ با اختصاص بالاترین میانگین عملکرد و ضریب رگرسیونی نزدیک به ۱ از ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه این روش تلقی شد. ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۲، ۳ و ۱ پس از ژنوتیپ شماره ۱۱ به ترتیب در مکان‌های بعدی از جنبه پایداری قرار گرفتند. این روش توسط بیتز و کوکران (Yates and Cochran, 1983)، نیز استفاده شد. آن‌ها با این روش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا را معرفی کردند (جدول ۴).

بر اساس روش پایداری ریک ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۶، ۱۶ و ۱۲ با داشتن کمترین ضریب اکووالانس و در نتیجه سهم کمتر در مقدار اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، از نظر این روش پایدار محسوب شدند. همچنین به جز ژنوتیپ شماره ۱۶ سایر ژنوتیپ‌ها (۶، ۱۱ و ۱۲) دارای میانگین

جدول ۴- پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم نان مبتنی بر روش اکووالانس ریک (w_i)، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) و روش رگرسیونی ابرهارت و راسل

Table 4. Stability analysis of grain yield in bread wheat genotypes based on Wricke's equivalence, Shukla's stability variance and regression method of Eberhart and Russell

شماره ژنوتیپ	اکووالانس ریک	واریانس پایداری شوکلا	مجدور انحراف از خط رگرسیون	ضریب رگرسیونی	میانگین عملکرد دانه
Genotype No.	Wricke's equivalence	Shukla's stability variance	Square deviation from regression line	Regression coefficient	Mean grain yield (tha^{-1})
1	2.60 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.21 ^{ns}	1.31 ^{ns}	6.180
2	1.90 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1.32 ^{ns}	6.201
3	1.87 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.19 ^{ns}	1.03 ^{ns}	6.274
4	6.63 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.59 ^{ns}	1.37 ^{ns}	5.884
5	4.30 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.67 ^{ns}	5.937
6	1.02 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.86 ^{ns}	6.224
7	3.27 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.95 ^{ns}	6.152
8	2.32 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.71 ^{ns}	6.070
9	1.98 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.19 ^{ns}	1.10 ^{ns}	5.972
10	1.97 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1.18 ^{ns}	5.959
11	0.97 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1.07 ^{ns}	6.492
12	1.65 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.81 ^{ns}	6.090
13	4.99 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.80 ^{ns}	6.408
14	1.85 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.18 ^{ns}	1.07 ^{ns}	6.409
15	4.36 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.26 ^{ns}	1.56 ^{ns}	6.092
16	1.22 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.74 ^{ns}	6.110
17	3.42 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.43 ^{ns}	5.713
18	4.91 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.84 ^{ns}	6.139
19	1.89 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.17 ^{ns}	1.18 ^{ns}	6.110

ns: Not significant.

ns: غیر معنی دار.

برای نام ژنوتیپ ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For genotype names see Table 1.

مربوط به اثر غیر خطی ژنوتیپ × محیط را توجیه کنند (جدول ۶). بر مبنای روش AMMI، ژنوتیپ های پایدار حایز مقادیر مثبت و کمتر برای مولفه های اصلی که بخش عمده ای از تغییرات اثر غیر خطی ژنوتیپ × محیط را به خود اختصاص داده باشند، به عنوان ژنوتیپ های پایدار تعیین می شوند. ژنوتیپ های شماره ۱۸،

بر مبنای این روش با نتایج روش های رگرسیونی ابرهارت و راسل، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و روش غیر پارامتری میانگین و انحراف معیار رتبه مشابهت نسبی داشت. تجزیه میانگین مربعات بر مبنای روش پایداری AMMI نشان داد که سه مولفه اصلی اول توانسته اند بیش از ۹۰ درصد از تغییرات

جدول ۵- پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان مبتنی بر روش گزینش همزمان (Y_{si})

Table 5. Stability analysis of grain yield in bread wheat genotypes based on simultaneous selection method

شماره ژنوتیپ	میانگین عملکرد دانه	رتبه عملکرد	ضریب اصلاحی رتبه عملکرد	رتبه اصلاح شده	واریانس پایداری	رتبه پایداری	معیار گزینش همزمان	
Genotype No.	Number	Mean grain yield (tha ⁻¹)	Rank of yield	Adjusted coefficient for rank of yield	Adjusted rank	Stability variance	Stability rank	Simultaneous selection measure
1	13	6.179	14	+1	21	0.74 ^{ns}	-8	6
2	14	6.200	15	+1	20	0.53 ^{ns}	0	15*
3	16	6.223	17	+1	19	0.52 ^{ns}	0	17*
4	2	5.883	0	-2	18	1.97 ^{ns}	-8	-8
5	3	5.936	2	-1	17	1.26 ^{ns}	-8	-6
6	15	6.223	16	+1	16	0.26 ^{ns}	0	16*
7	12	6.151	13	+1	15	0.94 ^{ns}	-8	5
8	6	6.070	5	-1	14	0.66 ^{ns}	-4	1
9	5	5.972	4	-1	13	0.55 ^{ns}	0	4
10	4	5.958	3	-1	12	0.55 ^{ns}	0	3
11	19	6.491	21	+2	9	0.24 ^{ns}	0	21*
12	7	6.089	6	-1	8	0.45 ^{ns}	0	6
13	17	6.407	19	+2	7	1.47 ^{ns}	-8	11
14	18	6.408	20	+2	6	0.51 ^{ns}	0	20*
15	8	6.091	7	-1	5	1.28 ^{ns}	-8	-1
16	9	6.109	8	-1	4	0.32 ^{ns}	0	8*
17	1	5.713	-1	-2	3	0.99 ^{ns}	-8	-9
18	11	6.138	12	+1	2	1.44 ^{ns}	-8	4
19	10	6.109	9	-1	1	0.53 ^{ns}	0	9*

Mean= 6.126
LSD 5% = 0.224

Mean= 6.421

*: Stable genotypes
ns: Not significant.

*: ژنوتیپ های پایدار
ns: غیر معنی دار.
برای نام ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For genotype names see Table 1.

جدول ۶- پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم نان مبتنی بر روش AMMI
Table 6. Stability analysis of grain yield in bread wheat genotypes based on AMMI method

مؤلفه	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد توجیه مؤلفه	درصد تجمعی
Principle component	df.	MS	Percent explained by principle component	Cumulative percentage
First اول	22	0.384**	52.70	32.52
Second دوم	20	0.340**	23.90	76.60
Third سوم	18	0.331**	14.35	90.95
Forth چهارم	16	0.196**	8.10	99.05

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

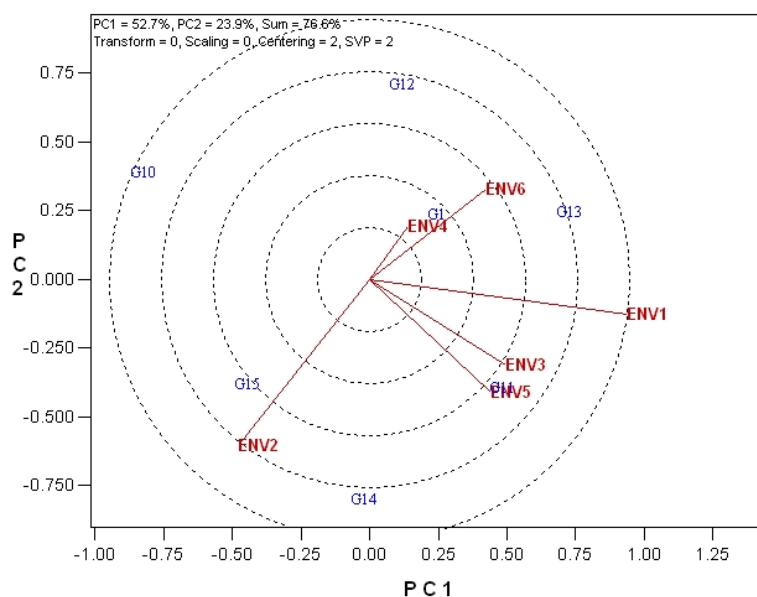
** : Significant 1% at levels of probability, respectively.

ژنوتیپ‌های حایز کمترین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و موقعیت مکان‌های این مطالعه را از این جنبه نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که بر روی یک دایره قرار دارند از جنبه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مشابه هستند. ژنوتیپ‌هایی که به محور مختصات نزدیک‌تر هستند از نظر پایداری عمومی حایز اهمیت هستند (شکل ۱). ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۱۴ و ۱ به ترتیب با بالاترین میانگین عملکرد و کمترین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها بر مبنای روش AMMI قرار گرفتند.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای مدل SHMM (مدل ضرب‌پذیر تغییر یافته) و قطع دندروگرام در نقطه ۲/۵، سه گروه از ژنوتیپ‌ها را مشخص کرد (شکل ۲). در گروه اول ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ جای گرفتند، گروه دوم به نه ژنوتیپ شماره ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۹ اختصاص یافت و در گروه سوم دو ژنوتیپ ۵ و ۷ قرار گرفتند. گروه اول

۱۹، ۱۵ و ۱۳ دارای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بزرگ بوده و میانگین عملکرد آن‌ها از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. این ژنوتیپ‌ها دارای پایداری کمتر و واجد سازگاری خصوصی با برخی از محیط‌ها بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۸، ۵، ۱۰ و ۹ دارای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط متوسط بوده و در گروه ژنوتیپ‌های با پایداری کم قرار گرفتند.

نتایج حاصل از تجزیه پایداری بر مبنای روش AMMI با نتایج معیارهای قبلی پایداری تقریباً مشابه بودند. در همه این روش‌ها، ژنوتیپ شماره ۱۱ به واسطه میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها و حداقل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در زمره پایدارترین ژنوتیپ‌ها بود با توجه به همین روش‌ها و معیارها، ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۸ و ۵ به واسطه میانگین عملکرد دانه پائین‌تر از میانگین کل و حداکثر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در زمره ژنوتیپ‌های با پایداری ضعیف قرار گرفتند. شکل ۱ پراکنش

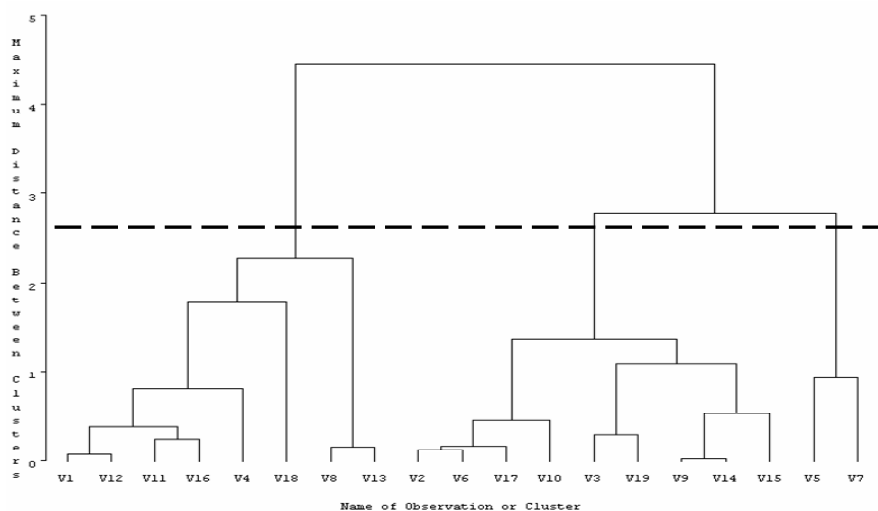


شکل ۱- بای پلات اولین و دومین مولفه اصلی برای ژنوتیپ‌های گندم نان حایز کمترین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (Env1-Env5 به ترتیب معرف مکان‌های اهواز، داراب، دزفول، ایرانشهر، خرم‌آباد و زابل هستند)

Fig. 2. Biplot of first and second principles for selected bread wheat genotypes with lowest genotypes by environment interaction (Env1-Env5 representative of locations Ahvaz, Darab, Dezful, Iranshahr, Khorramabd and Zabol, respectively)

برای نام ژنوتیپ‌ها (G1-G19) به جدول ۱ مراجعه شود.

For genotype names (G1-G19) see Table 1.



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم نان مبتنی بر مدل ضرب پذیر تغییر یافته (SHMM)

Fig. 2. Classification of bread wheat genotypes based on shifted multiplicative models cluster analysis (SHMM)

برای نام ژنوتیپ‌ها (V1-V19) به جدول ۱ مراجعه شود.

For genotype names (V1-V19) see Table 1.

و با روش AMMI متفاوت است.

در روش های ریک و شوکلا، ژنوتیپ های پایدار شامل ژنوتیپ های شماره ۱۱، ۱۶، ۶ و ۱۲ بودند، که غیر از ژنوتیپ شماره ۱۶ بقیه از میانگین عملکرد بالایی برخوردار بودند. در روش رگرسیونی ابرهارت و راسل ژنوتیپ های شماره ۱۱، ۱۴، ۲، ۳ و ۱ و در روش گزینش همزمان ژنوتیپ های شماره ۱۴، ۱۶، ۱۵، ۱۹، ۹ و ۱۰ پایدار تعیین شدند. بررسی ها نشان داد روش ابرهارت و راسل به واسطه اختصاص ژنوتیپ های پایدار با عملکرد بالا روش مناسبی برای تعیین پایداری ژنوتیپ های مورد مطالعه بود، ولی به دلیل عدم تفاوت معنی دار بین ضریب رگرسیونی و انحراف از رگرسیون ژنوتیپ های مورد مطالعه در این شرایط به طور قطع نمی توان روش ابرهارت و راسل و سایر روش هایی که نتایج مشابه با روش دارند را به عنوان روش برتر انتخاب کرد.

در روش AMMI، علاوه بر محاسبه اثر جمع پذیر ساده که در روش های قبلی نیز مورد استفاده قرار گرفت می توان اثر اصلی ضرب پذیر (تجزیه به مولفه های اصلی) را نیز محاسبه و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار داد (جدول ۷). با توجه به معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه بر اساس این روش نشان داد که ژنوتیپ های شماره ۱۱، ۱۴ و ۱ به واسطه اختصاص کمترین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و بالاترین میانگین عملکرد به عنوان پایدارترین ژنوتیپ ها شناخته

شامل ژنوتیپ هایی بود که میانگین عملکرد آنها در گروه خوب قرار داشت و از جنبه مقادیر اولین و دومین مولفه اصلی شامل مقادیر نسبتاً کوچک برای مولفه اول و مقادیر مثبت و نسبتاً کوچک برای دومین مولفه بوده اند.

در گروه دوم ژنوتیپ هایی با میانگین عملکرد متوسط قرار گرفتند که مقادیر دو مولفه در آنها نزدیک به صفر و یا منفی بود. گروه سوم شامل ژنوتیپ هایی بود که مقادیر بالا و منفی را از جنبه اولین و دومین مولفه به خود اختصاص دادند. کورنلیوس (Cornelius, 1993) نیز در مطالعات خود از این روش استفاده کرد و آن را در گروه بندی لاین ها از جنبه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توصیه کرد.

گروه بندی مناطق مورد بررسی بر اساس روش مدل ضرب پذیر تغییر یافته (SHMM) نشان داد که در محدوده ۱/۵ در مقیاس تغییر یافته دو گروه به دست می آید که در گروه اول ایستگاه های اهواز، داراب، ایرانشهر و خرم آباد (S1، S2، S4 و S5) و در گروه دوم دو ایستگاه دزفول و زابل (S3 و S6) قرار گرفتند (شکل ۳). مکان هایی که در یک گروه قرار گرفتند از نظر مقادیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نزدیک به هم بوده اند. بر اساس روش SHMM، مکان ها یا ژنوتیپ ها با حداقل اثر متقاطع (تغییر در ترتیب) در یک گروه قرار می گیرند. این روش مبتنی بر اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده

جدول ۷- مقادیر مربوط به دو مولفه اصلی ژنوتیپ‌های گندم نان و شش مکان مورد بررسی

Table 7. Amounts of two principle components in bread wheat genotypes and six locations of study

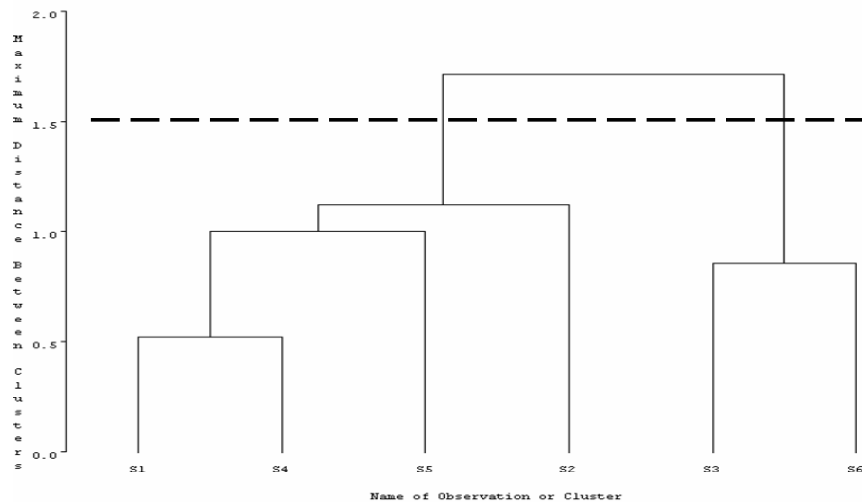
شماره ژنوتیپ Genotype No.	میانگین عملکرد دانه Mean grain yield (tha ⁻¹)	مولفه اول Fist Component	مولفه دوم Second Component	مولفه سوم Third Component
1	6.179	0.060	0.308	-0.080
2	6.200	-0.068	-0.248	-0.134
3	6.223	0.102	-0.188	0.201
4	5.883	-0.414	0.220	0.032
5	5.936	-0.410	-0.408	0.146
6	6.223	-0.106	-0.081	-0.231
7	6.151	-0.077	-0.604	-0.518
8	6.070	0.246	0.059	-0.318
9	5.972	0.092	-0.156	0.417
10	5.958	-0.163	-0.185	0.349
11	6.491	0.244	0.128	-0.016
12	6.089	0.024	0.328	-0.163
13	6.407	0.563	0.370	-0.327
14	6.408	0.053	-0.081	0.248
15	6.091	0.555	-0.030	0.569
16	6.109	-0.184	0.167	-0.026
17	5.12	-0.438	0.135	-0.160
18	6.138	-0.422	0.531	0.178
19	6.109	0.340	-0.264	-0.165
S1 (Ahwaz)	4.594	-0.106	0.032	-0.698
S2 (Darab)	5.331	-0.446	-0.512	0.774
S3 (Dezful)	4.253	-0.095	0.246	0.164
S4 (Iranshahr)	4.673	-0.316	-0.530	-0.511
S5 (Khorramabad)	5.534	1.151	-0.169	0.132
S6 (Zabol)	5.033	-0.187	0.934	0.139

برای نام ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For genotype names see Table 1.

در پایان پیشنهاد می‌شود که استفاده از روش‌های جدیدتر تجزیه پایداری نظیر AMMI و SHMM به دلیل بررسی بهتر و جزئی‌تر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که شامل اثر اصلی جمع پذیر و اثرات اصلی ضرب‌پذیر هستند برای تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار مورد استفاده قرار گیرند.

شدند و ژنوتیپ شماره ۱۱ به دلیل اختصاص کمترین اثر متقابل در بین ژنوتیپ‌های فوق به عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. با توجه به این که نتایج این روش با نتایج روش ابرهات و راسل و میانگین رتبه و انحراف معیار آن مشابه بود می‌توان روش رتبه و ابرهات و راسل را پس از دو روش AMMI و SHMM به عنوان روش مناسب در این مطالعه پیشنهاد کرد.



شکل ۳- گروه‌بندی مکان‌های مورد مطالعه مبتنی بر مدل ضرب پذیر تغییر یافته (SHMM)

Fig. 3. Classification of bread wheat locations based on shifted multiplicative models cluster analysis (SHMM)

S1-S6: نشان‌دهنده مکان‌های به ترتیب اهواز، داراب، دزفول، ایرانشهر، خرم‌آباد و زابل.

S1-S6: Representative of locations of Ahwaz, Darab, Dezful, Iranshahr, Khorramabad and Zabol, respectively.

سپاسگزاری

در شهرستان‌های مختلف نقش داشته‌اند، تشکر

و قدردانی می‌شود.

از کلیه محققین، کارشناسان مجری و

تکنسین‌هایی که در اجرا و ثبت داده‌های اولیه

References

- Becker, H. C., and Leon, J. 1988.** Stability analysis in plant breeding . Plant Breeding 101: 1-23.
- Clay, H., and Dombek, D. 1995.** Comparing soybean cultivar ranking and selection for yield with AMMI and full – data performance estimates. Crop Science 35: 1536-1541.
- Cornelius, P.L. 1993.** Statistical tests and retention of terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trials. Crop Science 33: 1186-1193.
- Cornelius, P. L., Crossa, J., and Seyedsadr, M. S. 1996.** Statistical tests and estimators for multiplicative models for cultivar trials. pp. 199-234. In: Kang, M. S. and Gauch, H. G. (eds.). Genotype-by-Environment Interaction. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Crossa, J., Cornelius, P. L., and Yan, W. 2002.** Biplot of linear-bilinear models for

- studying crossover genotype \times environment interaction. *Crop Science* 42: 619-633.
- Eberhart, S. A., and Russell, W. A. 1966.** Stability parameters for comparing varieties
Crop Science 6: 36-40.
- Einspruch, E. L. 2005.** An introductory guide to SPSS~for windows. Stage
Publication, Inc Thousand Oaks, CA.
- Falconer, D. S. 1985.** Introduction to Quantitative Genetics. Longman, U.S.A.
- Fox, D. N., and Rosielle, A. 1982.** Reducing the influence of environmental main
effects of plant breeding environments. *Euphytica* 31: 645-656.
- Gauch, H. G. 1990.** Full and reduced models for yield trials. *Theoretical and Applied
Genetics* 80: 153-160.
- Hayward, M. D., Bosemark, N. O., and Romagosa, I. 1993 .** Plant Breeding.
Chapman and Hall Press, U.K.
- Jarrah, M., and Geng, I. 1997.** Variability of morpho-physiological traits of
Mediterranean durum cultivars. *Rachis* 16 (1/2) : 52-56.
- Kang, M. S. 1993.** Simultaneous selection for yield and stability in crop performance
trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal* 85: 754 – 757.
- Lin, C. S., and Binns, M. R. 1991.** Genetic properties of four types of stability
parameters. *Theoretical and Applied Genetics* 82: 505-509.
- Najafian1, G., Kaffashi, A. K., and Jafar-Nezhad, A. 2010.** Analysis of grain yield
stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using
additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Agricultural Science
and Technology* 12: 213-222.
- Phoelman, J. M., and Sleper, D. A. 1996.** *Breeding Field Crops* (4th edition). Iowa
State University Press, Ames, USA.
- Romagosa, I., and Fox, P. N. 1993.** Genotype x environment interaction and
adaptation. PP. 373-390. In: Hayward, M. D., Bosemark, N. O., and Romagosa, I.
(eds.) *Plant Breeding: Principles and Prospects*. Chapman and Hall Press, London,
UK.
- SAS Institute. 2000.** The SAS system for windows. Released 8.01, SAS Inst. Inc.,
Cary, NC.
- Seyedsadr, M. S., and Cornelius, P. L. 1992.** Shifted multiplicative model for non-
additive two – way tables. *Comm. Stat. B. Simult. Comp.* 21: 807-822.

- Shukla, G. K. 1972.** Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. *Heredity* 29 (2): 237-245.
- Wricke, G. 1962.** Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 47: 92–96.
- Yan, R. C., Crossa, J., Cornelius, P. L., and Burgueno, J. 2009.** Biplot analysis of genotype × environment interaction. *Crop Science* 49 (5): 1564-1576
- Yates, F., and W.G. Cochran. 1983.** The analysis of groups of experiments. *Journal of Agricultural Science* 28: 556-580.