

## اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم دیم با استفاده از مدل GGE biplot

### Genotype × Environment Interaction for Grain Yield of Rainfed Durum Wheat Using the GGE biplot Model

رضا محمدی<sup>۱</sup>، محمد آرمیون<sup>۲</sup>، اسماعیل زادحسن<sup>۳</sup>، ملک مسعود احمدی<sup>۴</sup> و  
داود صادق‌زاده اهری<sup>۵</sup>

۱- استادیار، معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، کرمانشاه  
۲- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام  
۳ و ۵- به ترتیب مربی و استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه  
۴- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، شیروان  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۲۷

#### چکیده

محمدی، ر.، آرمیون، م.، زادحسن، ا.، احمدی، م. م. و صادق‌زاد اهری، د. ۱۳۹۱. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم دیم با استفاده از مدل GGE biplot. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۸: ۵۱۸-۵۰۳.

در این بررسی ۲۵ ژنوتیپ گندم شامل ۲۲ لاین پیشرفته گندم دوروم، دو رقم شاهد گندم دوروم (ساجی و زردک) و یک رقم شاهد گندم نان (سرداری) در ۱۹ محیط مختلف شامل ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم سرارود (کرمانشاه)، شیروان چرداول (ایلام)، مراغه و شیروان (خراسان شمالی) طی چهار سال زراعی (۸۹-۱۳۸۵) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند. بزرگی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به ژنوتیپ در تجزیه مرکب عملکرد دانه بیانگر وجود گروه‌های محیطی احتمالی در برنامه به‌نژادی گندم دوروم در شرایط دیم کشور بود. نتایج تجزیه بای پلات نشان داد که محیط‌های سرد از محیط‌های گرم در رتبه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت بودند. محیط‌های معتدل امکان گروه‌بندی با هر یک از دو گروه محیطی سرد و گرم را داشتند. ژنوتیپ‌های G8، G17، G23 (ساجی)، G11، G21 و G19 دارای ترکیب مناسبی از پایداری و عملکرد بودند. ژنوتیپ‌های G21، G16، G8، G23 (ساجی) و G17 بیشترین سازگاری به محیط‌های گرم و ژنوتیپ‌های G25 (سرداری)، G24 (زردک) و G6 بیشترین سازگاری به محیط‌های سرد را داشتند. ژنوتیپ‌های G20، G22 و G19 نیز دارای سازگاری عمومی بودند.

واژه‌های کلیدی: گندم دوروم، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، GGE بای پلات، پایداری و سازگاری.

## مقدمه

روش‌های آماری زیادی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است. این روش‌ها به دو دسته اصلی تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند (Lin *et al.*, 1986). از میان روش‌های چندمتغیره می‌توان به روش بای‌پلات که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی پیشنهاد شده است اشاره کرد (Yan *et al.*, 2000؛ Gauch, 1992؛ Gauch and Zobel, 1997؛ Gabriel, 1971؛ Kempton, 1984). نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات بر اساس روش‌های آماری چندمتغیره معرفی و به صورت گسترده توسط به‌نژادگران در کشاورزی به منظور تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط استفاده شده است (Yan and Tinker, 2006؛ Yan *et al.*, 2000؛ Gauch, 1992, 2006). یک نسخه ویژه از بای‌پلات، GGE (اثر اصلی ژنوتیپ (G) + اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط (GE)) بای‌پلات است که به طور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط را در اختیار قرار می‌دهد. اصطلاح "بای‌پلات" اولین بار توسط یان و همکاران (Yan *et al.*, 2000) معرفی و مورد استفاده قرار گرفت اما این روش بای‌پلات قبلاً در کارهای گزارش شده توسط کمپتون (Kempton, 1984) و کوپر و دلاسی (Cooper and DeLacy, 1994) نیز آمده است.

با توجه به مزیت‌های روش GGE بای‌پلات استفاده از این مدل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط پیشنهاد شده است (Cossa *et al.*, 2002؛ Yan and Kang, 2003؛ Laffont *et al.*, 2007؛ Yan, 2001, 2002؛ Butron *et al.*, 2004). استفاده از این مدل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چند محیطی در گندم (Yan and Hunt, 2002؛ Yan *et al.*, 2001؛ Yan and Hunt, 2002؛ Fan *et al.*, 2007)، سویا (Yan and Rajcan, 2002)، جو (Dehghani *et al.*, 2006)، پنبه (Dimitrios *et al.*, 2008) و گندم دوروم (Blanche and Myers, 2006) گزارش شده است. با توجه به سادگی تفسیر گرافیکی نتایج حاصل از این مدل امروزه از آن در تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در کشاورزی به صورت گسترده استفاده می‌شود. بنابراین استفاده از GGE بای‌پلات برای استخراج اطلاعات موجود در آزمایش‌های ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌های زراعی محصولات مختلف در سال‌ها و مکان‌های مختلف مفید است. این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط به به‌نژادگر کمک می‌کند تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و همچنین استفاده از این روش امکان

بای پلات به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تعیین ژنوتیپ‌های ایده‌آل و توصیه بهترین ژنوتیپ(ها) برای گروه‌های محیطی مختلف بود.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۲ لاین پیشرفته گندم دوروم و دو رقم گندم دوروم (ساجی و زردک) و یک رقم گندم نان (سرداری) به عنوان شاهد در چهار سال زراعی (۸۶-۱۳۸۵، ۸۷-۱۳۸۶، ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم در کرمانشاه (ایستگاه سرارود) شامل هشت محیط (چهار محیط دیم و چهار محیط آبیاری تکمیلی)، مراغه (ایستگاه مراغه) شامل سه محیط دیم، ایلام (ایستگاه شیروان چرداول) شامل شش محیط (سه محیط دیم و سه محیط آبیاری تکمیلی) و خراسان شمالی (ایستگاه شیروان) شامل دو محیط دیم مورد بررسی قرار گرفتند. در شرایط آبیاری تکمیلی دو بار آبیاری (جمعاً حدود ۵۰ میلی‌متر) از آغاز دوره گلدهی تا رسیدن اعمال شد. آزمایش‌ها در زمینی که سه سال قبل به صورت آیش بود پیاده شدند. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. هر ژنوتیپ در شش خط شش متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر تعیین کشت شد. میزان کود مورد نیاز در هر سال بر اساس توصیه کارشناسان خاک و آب ایستگاه‌های

بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به سادگی میسر می‌سازد.

از کاربردهای مهم GGE بای پلات تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی محصولات مختلف است. با استفاده از GGE بای پلات محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در آن محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند گروه‌بندی می‌شوند. گروه‌بندی محیط‌ها برای محصولات زراعی مختلف مثل گندم نان (Yan and Tinker, 2006؛ Kaya et al., 2006؛ Mohammadi et al., 2010a؛ Letta et al., 2008؛ Mohammadi et al., 2009)؛ سویا (Yan and Rajcan, 2002) و برنج (Samonte et al., 2005) گزارش شده است. از کاربردهای دیگر GGE بای پلات می‌توان به تعیین سازگاری و پایداری محصولات زراعی مختلف همچون گندم نان (Kaya et al., 2006؛ Yan and Hunt, 2001) گندم دوروم (Mohammadi and Haghparast, 2010؛ Mohammadi et al., 2010a) و جو (Mohammadi et al., 2009؛ Dehghani et al., 2006) اشاره کرد.

هدف از این پژوهش تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از مدل GGE

مذکور استفاده شد.

به منظور تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه از نرم‌افزار آماری GGE-بای پلات (Yan, 2001) استفاده شد. در این مطالعه بای پلات‌ها بر اساس (۱) الگوهای "کدام ژنوتیپ برای کدام محیط (Which-win-where) مناسب‌تر است"، (۲) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب هم‌زمان عملکرد دانه با پایداری، (۳) "قابلیت نمایندگی محیط‌ها در مقابل قدرت تمییز محیط‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها (Discriminative vs. representative ability)"، (۴) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل و (۵) گروه‌بندی محیط‌ها بر اساس میزان تشابه و عدم تشابه آن‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها ترسیم شدند.

#### نتایج و بحث

مشخصات ژنوتیپ‌های گندم دوروم و محیط‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها وجود دارد (جدول ۲). بین محیط‌ها و اثر مقابل ژنوتیپ × محیط نیز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. سهم اثر اصلی برای محیط، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و ژنوتیپ به ترتیب ۸۲/۹٪، ۸/۹٪ و ۲/۱٪ از مجموع مربعات کل بود (جدول ۲). بزرگی اثر محیط بیانگر متفاوت

بودن محیط‌ها است که باعث ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار و ایجاد تنوع در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شد. سهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به ژنوتیپ حدود چهار برابر بود که حاکی از وجود احتمالی گروه‌های بزرگ محیطی (Mega-environments) با ژنوتیپ‌های مختلف است که حداکثر عملکرد را در آن گروه محیطی دارند (Yan and Kang, 2003). تاثیر پایین ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل است که در سال‌های گذشته در برنامه به‌نژادی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد انتخاب شده‌اند و این ژنوتیپ‌های برتر (در آزمایش‌های سازگاری و پایداری عملکرد) نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نقش کمتری در توجیه تنوع موجود داشته‌اند. این امر با سایر نتایج گزارش شده در تطابق است (Mohammadi et al., 2010b; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008; Samonte et al., 2005; Yan et al., 2001).

در جدول ۳ مقادیر متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در کل محیط‌ها آمده است. متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها برابر با ۲۷۳۷ کیلوگرم در هکتار بود که بیشترین آن برای ژنوتیپ ساجی (G23) با عملکرد ۳۱۵۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن برای ژنوتیپ سرداری (G25) با عملکرد ۲۲۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. ژنوتیپ‌های G12، G20، G8، G18، G16، G21، G17، G11، G9، G19 و G22 اختلاف معنی‌داری با رقم ساجی (G23) نداشتند. در

جدول ۱- مشخصات ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم ارزیابی شده در ۱۹ محیط مورد بررسی

Table 1. Description of 25 tested genotypes in 19 environments

ژنوتیپ			محیط					
کد	پدیگری/نام	منبع	کد	سال زراعی	مکان	وضعیت	بارندگی	آبیاری
Code	Pedigree/Name	Source	Code	Cropping season	Location	Status	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)
G1	54-17-3-1	Gene bank	K07R	2006-07	Kermanshah	Rainfed	551.8	-
G2	65-12-3-3	Gene bank	K07I	2006-07	Kermanshah	Supplemental irrigation	551.8	50
G3	19-17-1-4	Gene bank	I07R	2006-07	Ilam	Rainfed	470.3	-
G4	45-2-2-4	Gene bank	M07R	2006-07	Maragheh	Rainfed	417.7	-
G5	13	Gene bank	K08R	2007-08‡	Kermanshah	Rainfed	159.1	30
G6	48-17-2-5	Gene bank	K08I	2007-08‡	Kermanshah	Supplemental irrigation	159.1	30+50
G7	28-18-2-1	Gene bank	I08I	2007-08	Ilam	Supplemental irrigation	377.0	50
G8	ICAMOR-TA04-62	ICARDA	M08R	2007-08	Maragheh	Rainfed	137.6	-
G9	ICAMOR-TA04-63	ICARDA	S08R	2007-08	Shirvan	Rainfed	238.0	-
G10	ICAMOR-TA04-68	ICARDA	K09R	2008-09	Kermanshah	Rainfed	288.3	-
G11	ICAMOR-TA04-1	ICARDA	K09I	2008-09	Kermanshah	Supplemental irrigation	288.3	50
G12	ICAMOR-TA04-2	ICARDA	I09R	2008-09	Ilam	Rainfed	277.1	-
G13	Gidara-2	ICARDA	I09I	2008-09	Ilam	Supplemental irrigation	277.1	50
G14	ICAMOR-TA04-23	ICARDA	S09R	2008-09	Shirvan	Rainfed	338.6	-
G15	ICAMOR-TA04-5	ICARDA	K10R	2009-10	Kermanshah	Rainfed	455.7	-
G16	Ammar-6	ICARDA	K10I	2009-10	Kermanshah	Supplemental irrigation	455.7	50
G17	Ammar-8	ICARDA	I10R	2009-10	Ilam	Rainfed	511.6	-
G18	Icasyr-2	ICARDA	I10I	2009-10	Ilam	Supplemental irrigation	511.6	50
G19	Bcr/Gro1//Mgn1	ICARDA	M10R	2009-10	Maragheh	Rainfed	498.1	-
G20	Bcr/Gro1//Mgn1	ICARDA	‡ در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ به دلیل پدیده خشکسالی در کرمانشاه آزمایش‌های دیم و آبیاری تکمیلی در اوایل دوره گلدهی ۳۰ میلی‌متر آب دریافت کردند.					
G21	Azeghar-2//Ch1/F113	ICARDA						
G22	Lahaucan	ICARDA	‡ Due to sever drought condition in 2007-08 cropping season in the Kermanshah location to avoid crop failure an irrigation of 30 mm before flowering stage was applied for both rainfed and irrigated trials					
G23	Saji	Iran						
G24	Zardak	Iran						
G25	Sardari	Iran						

اما در شرایط آبیاری تکمیلی ژنوتیپ‌های G23 (ساجی)، G9، G8، G19 و G12 بیشترین عملکرد را داشتند. در شرایط دیم در ایلام ژنوتیپ‌های G16، G20، G23 (ساجی)، G8 و G21 بیشترین عملکرد و در شرایط آبیاری تکمیلی ژنوتیپ‌های G16، G15، G18، G11 و G23 (ساجی) بیشترین پتانسیل عملکرد را

جدول ۳ همچنین متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در سال‌های مورد بررسی به تفکیک شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در هر یک از مکان‌های مورد بررسی به همراه رتبه هر ژنوتیپ آمده است. در شرایط دیم در کرمانشاه بیشترین میزان متوسط عملکرد مربوط به ژنوتیپ‌های G20، G18، G12، G11 و G23 (ساجی) بود،

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه برای ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۹ محیط  
Table 2. Combined analysis of variance for 25 durum wheat genotypes grown in 19 environments

S.O.V.	منبع تغییر	df.	SS	MS	F	%SST
Environment	محیط	18	4034518130	224139896	361.6**	82.9
Rep/Environment (E)	تکرار در محیط	38	23553051	619817		0.5
Genotype (G)	ژنوتیپ	24	104244631	4343526	14.7**	2.1
G × E	ژنوتیپ × محیط	432	433605160	1003716	3.4**	8.9
Error	خطا	912	270285787	296366		5.6
Total	کل	1424	4866206759			

\*\* : Significant at 1% probability level.

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

%SST: Percentage relative to total sum of squares.

%SST: درصد نسبت به مجموع مربعات کل.

ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند توسط خطوط مستقیمی به هم متصل شده‌اند و بقیه ژنوتیپ‌ها در درون پلی گون قرار دارند. ژنوتیپ‌هایی که رئوس چندضلعی را تشکیل می‌دهند شامل G18، G11، G23 (ساجی)، G8، G5، G25 (سرداری) و G6 هستند. این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها هستند زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند (Yan and Kang, 2003). بر اساس شکل ۱ محیط‌ها به شش گروه محیطی و ژنوتیپ‌ها به هفت گروه ژنوتیپی تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط‌های مربوط به مراغه (M10R، M08R)، شیروان (S09R، S08R) و کرمانشاه (K08R، K09R، K08I) بودند که ژنوتیپ G25 (سرداری) دارای بیشترین عملکرد در این محیط‌ها بود، این محیط‌ها تحت عنوان گروه محیط‌های سرد نامگذاری

داشتند. در شرایط دیم در مراغه ژنوتیپ‌های G25 (سرداری)، G1، G6، G4 و G24 (زردک) و در شرایط دیم در شیروان ژنوتیپ‌های G25 (سرداری)، G1، G19، G20 و G6 بیشترین عملکرد را داشتند (جدول ۳).

یکی از جنبه‌های GGE بای پلات نمایش چندضلعی (پلی گون) اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است که بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به منظور تفسیر مؤثر بای پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی بزرگ در یک منطقه (که در آن گروهی از ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی قرار می‌گیرند) است (Yan and Kang, 2003)؛ (Yan et al., 2000, 2001)؛ (Gauch and Zobel, 1997). شکل ۱، یک نمایش چند ضلعی از ۲۵ ژنوتیپ مورد بررسی در ۱۹ محیط را نشان می‌دهد. در این شکل

جدول ۳- میانگین عملکرد ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم و رتبه آن‌ها در کل محیط‌ها و به تفکیک گروه‌های محیطی مختلف

Table 3. Mean yield performance of 25 durum wheat genotypes and their ranks over the environments and across the different environmental groups

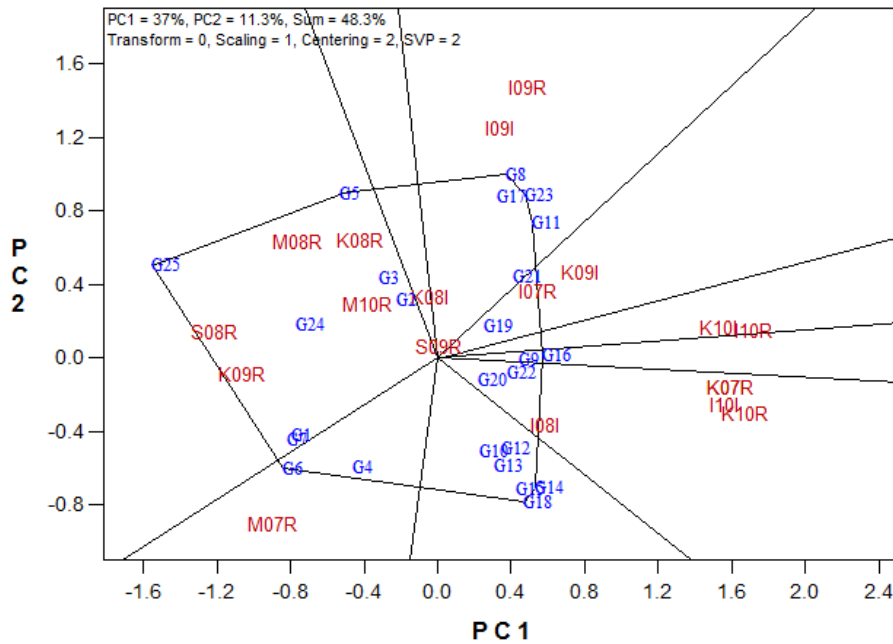
کد Code	Kermanshah کرمانشاه				Ilam ایلام		Maragheh مراغه				Shirvan شیروان		
	دیم Rainfed		آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation		دیم Rainfed		آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation		دیم Rainfed		دیم Rainfed		
	میانگین کل Total mean (kg ha <sup>-1</sup> )	میانگین Average (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه Rank	میانگین Average (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه Rank	میانگین Average (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه Rank	میانگین Average (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه Rank	میانگین Average (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه Rank	میانگین Average (kg ha <sup>-1</sup> )	رتبه Rank
G1	2401de	2525	20	3072	23	2225	23	2824	22	1936	4	1034	2
G2	2463de	2637	18	3288	18	2669	19	3041	17	1532	18	937	6
G3	2441de	2545	19	3153	20	2738	18	2887	19	1609	15	862	14
G4	2570cd	2853	14	3455	17	2669	20	2696	25	1971	2	920	7
G5	2419de	2360	21	3075	22	2794	17	2871	20	1735	11	868	11
G6	2314de	2170	23	3083	21	2302	22	2701	24	1971	3	948	5
G7	2321de	2292	22	3165	19	2055	24	2857	21	1832	6	819	19
G8	2971ab	2984	10	4195	3	3591	4	3537	12	1768	9	837	17
G9	2916ab	3030	8	4244	2	3020	15	3488	15	1696	13	834	18
G10	2783bc	3068	6	3710	14	3108	13	3339	16	1506	20	863	13
G11	2930ab	3104	4	3957	8	3086	14	4039	4	1303	25	807	20
G12	3009ab	3120	3	4101	5	3349	7	3919	9	1741	10	881	9
G13	2785bc	2970	12	3811	11	3123	12	3501	14	1472	21	727	23
G14	2789bc	3039	7	3835	9	2859	16	3511	13	1401	24	788	21
G15	2884b	2944	13	3572	15	3242	9	4315	2	1590	16	708	24
G16	2962ab	2993	9	3813	10	3671	1	4332	1	1507	19	649	25
G17	2948ab	2980	11	3747	12	3497	6	3924	8	1719	12	842	15
G18	2987ab	3269	2	3736	13	3190	11	4135	3	1692	14	840	16
G19	2900ab	2839	15	4165	4	3255	8	3552	11	1568	17	1006	3
G20	3004ab	3388	1	3544	16	3620	2	3792	10	1826	7	999	4
G21	2953ab	2810	16	4040	7	3547	5	3979	7	1429	23	866	12
G22	2889ab	2774	17	4042	6	3230	10	3985	6	1435	22	889	8
G23	3151a	3093	5	4438	1	3620	3	4036	5	1814	8	738	22
G24	2368de	2086	24	2964	25	2462	21	2989	18	1898	5	870	10
G25	2275e	2002	25	3019	24	1774	25	2780	23	2249	1	1290	1
Mean	2737	2795		3649		2988		3481		1688		873	

میانگین‌های کل با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

The total mean values followed by common letters are not significantly different at 1% level of probability.

برخوردار نبودند. گروه چهارم شامل محیط‌های آبی کرمانشاه (K10I) و دیم ایلام (I10R) بود که ژنوتیپ G16 در این گروه بیشترین پتانسیل عملکرد را داشت. گروه بعدی شامل محیط‌های آبی کرمانشاه (K09I) و دیم ایلام (I07R) بود که برای این گروه نیز

شدند. در گروه دوم که شامل مراغه (M07R) بود ژنوتیپ G6 بهترین عملکرد را داشت. گروه سوم شامل محیط‌های دیم کرمانشاه (K10R، K07R) و محیط‌های آبی ایلام (I10I، I08I) بود و هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها در این گروه محیطی از عملکرد حداکثر



شکل ۱- نمایش گرافیکی انطباق ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم (G1-G25) با ۱۹ محیط  
 Fig. 1. Graphical display of 25 durum wheat genotypes (G1-G25) over 19 environments

برای مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

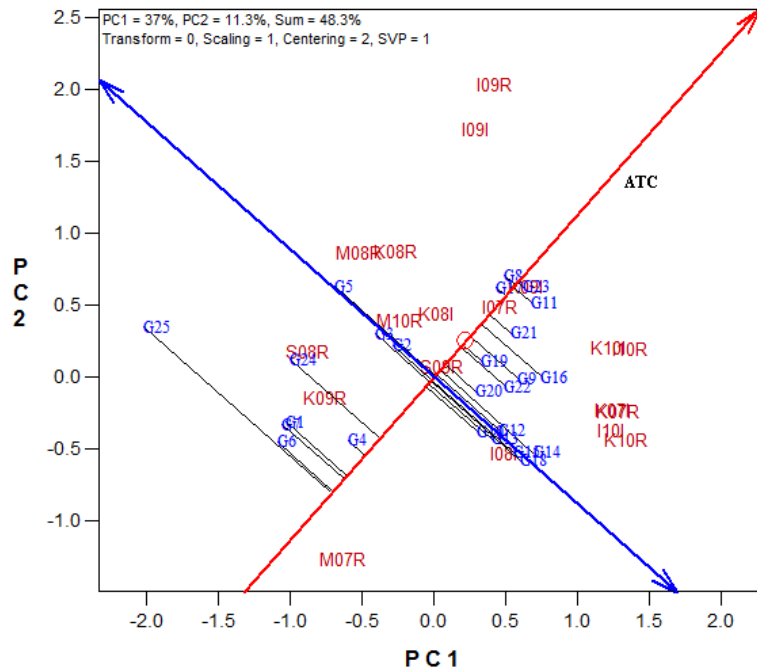
For description of genotypes and environments see Table 1.

امکان ارزیابی اولیه ژرم پلاسما بزرگ گندم در مناطق معتدل (کرمانشاه) و هدایت گروه‌های ژنوتیپی جهت ارزیابی بیشتر در محیط‌های سرد (مراغه و شیروان) و گرم (ایلام) دیم کشور را تقویت می‌کند. ژنوتیپ‌های G16 و G18 در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌های G19، G20، G22، G9 و G2 که در نزدیک مرکز بای پلات قرار داشتند دارای عملکرد متوسطی در تمام محیط‌ها بودند.

شکل ۲ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در ۱۹ محیط را نشان می‌دهد. بر این اساس ژنوتیپ‌های G8، G17، G23 (ساجی)، G11، G21 و G19 جزء ژنوتیپ‌های برتر (عملکرد و پایداری بالا) بودند (شکل ۲). بقیه

ژنوتیپ با حداکثر عملکرد وجود نداشت. گروه ششم شامل محیط‌های ایلام (I09R)، I09I بود که ژنوتیپ G8 بیشترین عملکرد را در این گروه محیطی داشت. نتایج گروه‌بندی نشان داد که محیط‌های معتدل (کرمانشاه) امکان گروه‌بندی با هر یک از دو گروه محیطی سرد (مراغه و شیروان) و گرم (ایلام) را داشتند. به عبارت دیگر محیط‌های مربوط به کرمانشاه (محیط‌های دیم و آبی) در بعضی از سال‌ها در گزینش ژنوتیپ‌ها مشابه محیط‌های گرم و در بعضی از سال‌ها مشابه محیط‌های سرد عمل کردند. این موضوع با نتایج قبلی گزارش شده در مورد آزمایش‌های گندم نان و دوروم مطابقت دارد (Mohammadi *et al.*, 2010 a, b).





شکل ۲- ارزیابی ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۹ محیط به طور همزمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد

Fig. 2. Evaluation of 25 durum wheat genotypes based on both yield and stability performance in 19 environments

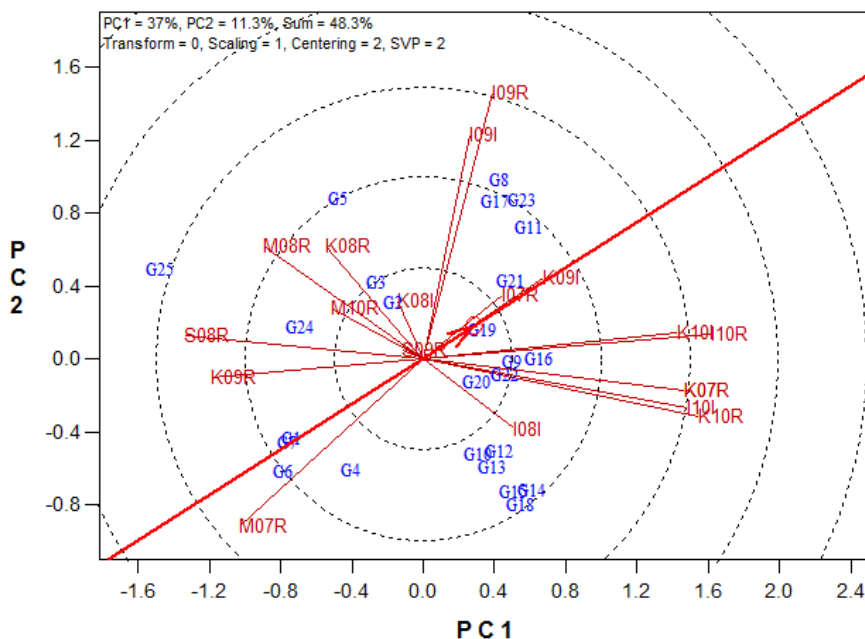
برای مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For description of genotypes and environments see Table 1.

می‌توانند ژنوتیپ‌های با متوسط عملکرد بالا اما با پایداری کم که بهترین پاسخ را به محیط‌های خاصی داشته باشند انتخاب کنند. برای مثال در گروه محیطی K07R، K07I، I10I، K10R، K10I و I10R که نماینده کرمانشاه و ایلام هستند، ژنوتیپ‌های G16، G19، G20، G22، G23 (ساجی)، G21، G11، G14، G18، G13، G12 و G15 بهترین واکنش و ژنوتیپ‌های G5 و G8 واکنش ضعیفی داشتند (شکل ۲).

بر اساس شکل ۳ تشابه بسیار زیادی بین محیط‌های K10I و I10R و همچنین بین محیط‌های K10R، I10I و K07R وجود داشت. زاویه بین این دو گروه محیطی کمتر از

ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط دو سر پیکان قرار دارند از نظر عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ خط دو سر پیکان قرار دارند عملکرد کمتری از میانگین دارند. بر اساس شکل ۲ ژنوتیپ‌های G16، G9، G22، G20، G12 و G14 دارای عملکرد بالا و پایداری پایین (فاصله بیشتر از خط ATC) بودند و ژنوتیپ‌های G25 (سرداری)، G6، G7، G1 و G24 (زردک) دارای عملکرد پایین و پایداری کم و ژنوتیپ G4 دارای عملکرد کمتر و پایداری بالا بود. ژنوتیپ‌های G5، G18، G3، G2، G15، G13 و G14 دارای عملکرد متوسط و نسبتاً ناپایدار بودند. به‌نژادگران



شکل ۳- GGE بای پلات که روابط بین محیطها و مقایسه محیطها از نظر "قابلیت تفکیک بین ژنوتیپها در مقابل نماینده بودن" آنها را نشان می دهد

Fig. 3. GGE biplot which shows the relationship among different environments and "discriminative vs. representative of testers"

برای مشخصات ژنوتیپها و محیطها به جدول ۱ مراجعه شود.

For description of genotypes and environments see Table 1.

I07R (ایلام) نیز مشاهده شد. زاویه بین این چهار محیط (I07R و K09I، I09I، I09R) نیز کمتر از ۹۰ درجه بود که نشان از همبستگی آنها در شناسایی ژنوتیپهای یکسان است. شکل ۳ نشان می دهد که حداکثر زاویه بین محیطهای مربوط به ایلام ۹۰ درجه، مربوط به مراغه ۹۰ درجه و مربوط به شیروان نیز حداکثر ۹۰ درجه ولی زاویه بین محیطهای مربوط به کرمانشاه بیشتر از ۱۸۰ درجه بود. این امر نشان می دهد که امکان گروه بندی محیطهای گرم ایلام با محیطهای سرد مراغه و شیروان وجود ندارد، اما بعضی از محیطهای کرمانشاه با محیط گرم ایلام و بعضی دیگر با محیطهای سرد مراغه و شیروان همبستگی دارد. شکل ۳

۹۰ درجه بود که نشان می دهد این محیطها که متعلق به کرمانشاه و ایلام هستند در رتبه بندی ژنوتیپها مشابه عمل می کند. در مقابل زاویه بین محیطهای M10R، K08R، M08R (که نماینده مناطق سرد S08R و K09R هستند) کمتر از ۹۰ درجه بود ولی این گروه محیطی با گروه قبلی (گروه محیطی گرم) زاویه نزدیک به ۱۸۰ درجه تشکیل دادند که نشان می دهد این دو گروه از محیطها (محیطهای گرم و سرد) در تفکیک و رتبه بندی ژنوتیپها عکس هم عمل می کنند. همبستگی بسیار بالایی بین محیطهای I09R و I09I مربوط به ایلام و همچنین همبستگی بالایی بین محیطهای K09I (کرمانشاه) و

همچنین نشان می‌دهد که بیشتر ژنوتیپ‌ها (۱۶ ژنوتیپ) سازگاری بهتری به شرایط محیط‌های گرم داشته و بقیه ژنوتیپ‌ها (G1، G24، G25، G7، G5، G2، G3، G6 و G4) به شرایط محیط‌های سرد سازگاری بهتری دارند.

اگرچه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیط‌ها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیط‌هایی کاربرد دارد که دارای دو خصوصیت عمده باشند: (۱) محیط توانایی بالایی در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته باشد و (۲) نماینده‌ای برای محیط‌های دیگر مورد آزمون باشد (Yan and Tinker, 2006؛ Yan and Kang, 2003) این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (Fan et al., 2007)، پنبه (Blanche and Myers, 2006) و گندم دوروم (Dimitrios et al., 2008) مورد استفاده قرار گرفته است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها بر می‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که یک محیط نماینده شرایط سایر محیط‌ها در مطالعه مورد نظر است (Blanche and Myers, 2006).

بنابراین یک محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو خصوصیت را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این خصوصیات در مدل GGE بای‌پلات تحت عنوان "قدرت تفکیک محیط‌ها در مقابل نمایندگی آن‌ها" (discriminating power vs. representativeness of testers) آورده شده است (Yan and Tinker, 2006)؛ Yan and (Kang, 2003). بر اساس شکل ۳، محیط‌های K09I (کرمانشاه) و I07R (ایلام) را می‌توان به عنوان محیط‌های ایده‌آل برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم در این آزمایش در نظر گرفت. محیط‌های K10I (کرمانشاه) و I10R (ایلام) نیز دارای خصوصیات محیط‌های ایده‌آل هستند. همچنین محیط‌های K07R و K10R (کرمانشاه) و I09R، I10I و I09I (ایلام) نیز به شرایط محیط‌های ایده‌آل نزدیک هستند. هر چه طول بردار محیطی کوچک‌تر باشد آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها دارد، بر این اساس محیط‌های K08I (کرمانشاه) و S09R (شیروان) دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها هستند. محیط‌های K10R و K07R (کرمانشاه) و I10I، I10R و I09R (ایلام) دارای بیشترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند.

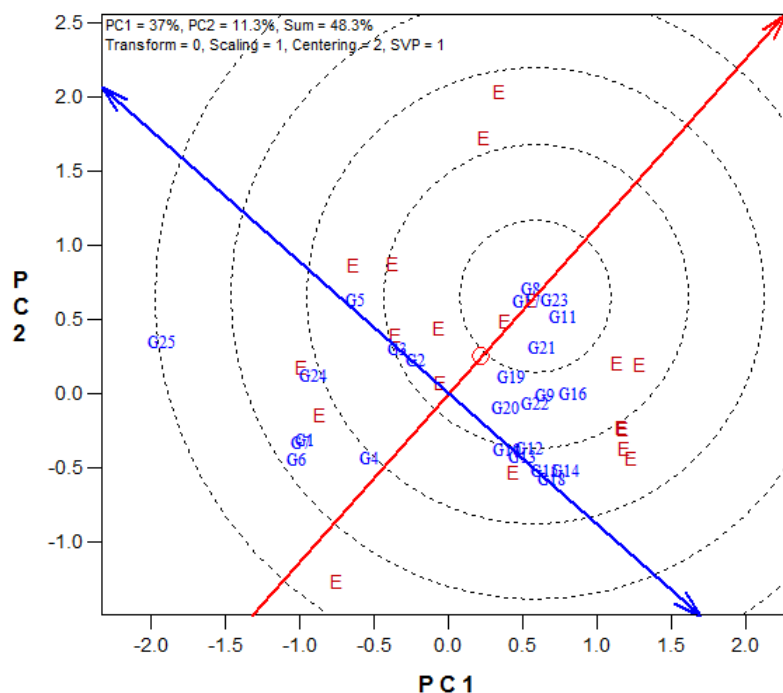
یک ژنوتیپ ایده‌آل بایستی دارای بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد

همچنین نشان می‌دهد که بیشتر ژنوتیپ‌ها (۱۶ ژنوتیپ) سازگاری بهتری به شرایط محیط‌های گرم داشته و بقیه ژنوتیپ‌ها (G1، G24، G25، G7، G5، G2، G3، G6 و G4) به شرایط محیط‌های سرد سازگاری بهتری دارند.

اگرچه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیط‌ها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیط‌هایی کاربرد دارد که دارای دو خصوصیت عمده باشند: (۱) محیط توانایی بالایی در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته باشد و (۲) نماینده‌ای برای محیط‌های دیگر مورد آزمون باشد (Yan and Tinker, 2006؛ Yan and Kang, 2003) این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (Fan et al., 2007)، پنبه (Blanche and Myers, 2006) و گندم دوروم (Dimitrios et al., 2008) مورد استفاده قرار گرفته است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها بر می‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که یک محیط نماینده شرایط سایر محیط‌ها در مطالعه مورد نظر است (Blanche and Myers, 2006).

محیط باشد تعریف شده است، به صورتی که در شکل ۴ به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به آن اشاره شده است. برای استفاده از ژنوتیپ

(Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ



شکل ۴- GGE بای پلات که ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل را نشان می‌دهد  
Fig. 4. GGE biplot which evaluates genotypes relative to an ideal genotype

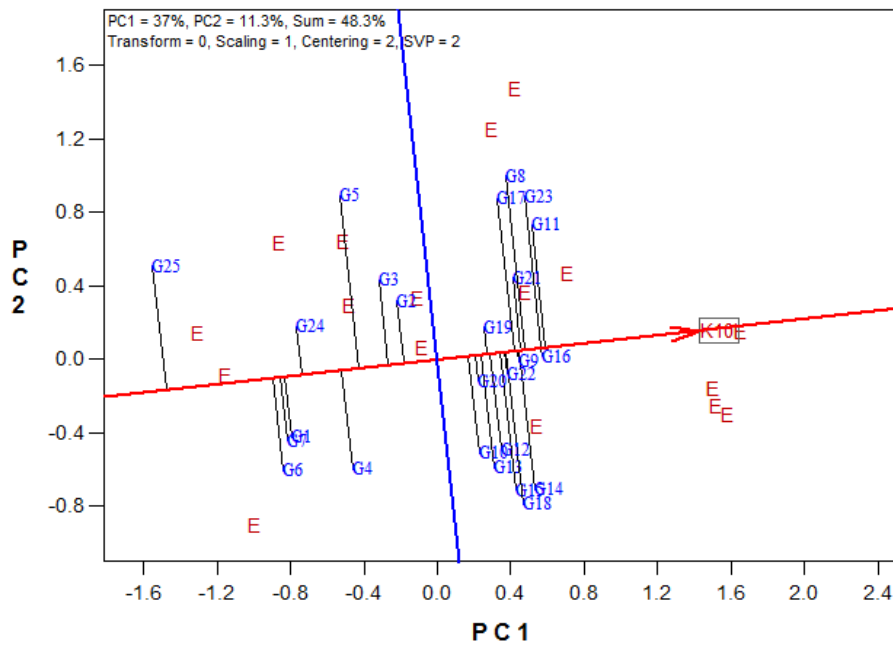
برای مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For description of genotypes and environments see Table 1.

بالایی هستند در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های G19، G9، G16 و G22 نیز به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G25 (سرداری)، G6، G7، G1، G4 و G24 (زردک) به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند زیرا دارای بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل بودند.

شکل ۵ مقایسه گرافیکی عملکرد دانه ۲۵ ژنوتیپ مورد بررسی در محیط K10I

ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۴). ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار دارد ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالا و پایداری بالا است. بنابراین ژنوتیپ‌های G8، G17، G23 (ساجی)، G11 و G21 را می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب که دارای میانگین عملکرد و پایداری



شکل ۵- GGE بای پلات که رتبه بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها در محیط K10I با بیشترین پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهد

Fig. 5. GGE-biplot which shows ranking of genotypes relative to the highest yielding environment (K10I)

برای مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For description of genotypes and environments see Table 1.

عملکرد بالا را از ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین (G25، G6، G7، G1، G24، G4، G5، G3 و G2) جدا می‌کند.

نتایج حاصل از تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این پژوهش نشان داد که محیط‌های مورد مطالعه بخش بزرگی از تغییرات موجود در ماتریس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کند. بنابراین روش GGE بای پلات ابزار مناسبی برای گروه بندی محیط‌های متنوع در این مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار به شرایط محیطی مختلف بود. در این پژوهش محیط‌های مربوط به ایلام (محیط‌های گرم) از محیط‌های مربوط به مراغه و شیروان (محیط‌های سرد) کاملاً

(کرمانشاه در شرایط آبیاری تکمیلی) که بیشترین پتانسیل عملکرد را در میان ۱۹ محیط مورد بررسی داشت، را نشان می‌دهد. یک خط که از مرکز بای پلات و از نقطه مربوط به محیط K10I گذشته است، محور محیطی K10I نام دارد. خطوط عمود بر این خط توسط هر ژنوتیپ فاصله و رتبه آن‌ها را نسبت به محیط K10I نشان می‌دهد. بنابراین در محیط K10I ژنوتیپ‌های G16، G11، G23 (ساجی)، G8، G21، G9، G14، G17، G22، G18، G17، G12، G19، G13، G20 و G10 به ترتیب دارای بیشترین عملکرد بودند. خطی که از مرکز بای پلات می‌گذرد و بر محور محیطی K10I عمود است ژنوتیپ‌های با

تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط، ژنوتیپ‌های G8، G17 و G11 به دلیل داشتن پتانسیل بالای عملکرد و پایداری مشابه رقم شاهد ساجی عمل کردند و به عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش در صورت داشتن کیفیت دانه بهتر از ساجی (پروتئین رقم ساجی ۱۳٪ است) می‌توانند جایگزین رقم ساجی شوند. در این پژوهش متوسط عملکرد رقم ساجی ۳۱۵۱ کیلوگرم در هکتار بود که بیشترین پتانسیل عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشت. عملکرد ارقام شاهد سرداری و زردک نیز به ترتیب ۲۲۷۵ و ۲۳۶۸ کیلوگرم در هکتار بود. متوسط عملکرد لاین‌های امیدبخش G8، G17 و G11 نیز به ترتیب برابر با ۲۹۷۱، ۲۹۴۸ و ۲۹۳۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

## References

- Blanche, S. B., and Myers, G. O. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science* 46: 946–949.
- Butron, A., Velasco, P., Ordás, A., and Malvar, R. A. 2004. Yield evaluation of maize cultivars across environments with different levels of pink stem borer infestation. *Crop Science* 44: 741–747.
- Cooper, M., and DeLacy, I. H. 1994. Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 561–572.
- Crossa, J., Cornelius, P. L., and Yan, W. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype  $\times$  environment interaction. *Crop Science* 42: 136–144.
- Dehghani, H., Ebadi, A., and Yousefi, A. 2006. Biplot analysis of genotype by

متمایز بودند. این دو گروه محیطی نقش مهمی در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها داشتند. بنابراین با گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه به محیط‌های سرد و گرم امکان یافتن ژنوتیپ‌های سازگار به هر یک از شرایط محیطی گرم و سرد با استفاده از مدل GGE بای‌پلات فراهم شد. حداکثر زاویه بین محیط‌های مربوط به هر یک از مکان‌های ایلام، مراغه و شیروان بیشتر از ۹۰ درجه نبود. این امر نشان می‌دهد که محیط‌های مربوط به هر یک از این سه مکان تمایلی به واگرایی نداشتند. در مقابل حداکثر تنوع در محیط‌های مربوط به کرمانشاه (معتدل) مشاهده شد به طوری که در بعضی از سال‌ها برخی از محیط‌های مربوط به کرمانشاه تمایل به گروه‌بندی با محیط‌های سرد و در برخی از سال‌های دیگر تمایل به گروه‌بندی با محیط‌های گرم را داشتند. بر اساس نتایج

- environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal* 98: 388–393.
- Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R., and Eva, B. 2008.** Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal* 100: 1230–1236.
- Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C. 2007.** Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99: 220–228.
- Gabriel, K. R. 1971.** The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453–467.
- Gauch, H. G. 1992.** *Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs.* Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Gauch, H. G. 2006.** Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46: 1488–1500.
- Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1997.** Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37: 311–326.
- Kaya, Y., Akcura, M., and Taner, S. 2006.** GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 325–337.
- Kempton, R.A. 1984.** The use of bi-plots in interpreting variety-by-environment interactions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 103: 123–135.
- Laffont, J. L., Hanafi, M., and Wright, K. 2007.** Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE Biplots. *Crop Science* 47: 990–996.
- Letta, T., D'Egidio, M.G., and Abinasa, M. 2008.** Analysis of multi-environment yield trials in durum wheat based on GGE-biplot electronic resource. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6(2): 217-221.
- Lin, C. S., Binns, M. R., and Lefcovitch, L. P. 1986.** Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894–900.
- Mohammadi, R., Amri, A., and Ansari, Y. 2009.** Biplot Analysis of rain-fed barley multi-environment trials in Iran. *Agronomy Journal* 101: 789–796.
- Mohammadi, R., Amri, A., and Haghparast, R. 2011.** Evaluation of promising rainfed wheat breeding lines on farmers' fields in the west of Iran. *International Journal of Plant Breeding* 5(1): 30–36.
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., and Ceccarelli, S. 2010a.** Yield

stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science* 61: 92–101.

- Mohammadi, R., Roostaii, M., Haghparast, R., Roohi, E., Solimani, K., Ahmadi, M.M., Abedi, G. R., and Amri, A. 2010b.** Genotype  $\times$  environment interactions for grain yield in rainfed winter wheat multi-environment trials in Iran. *Agronomy Journal* 102: 1500–1510.
- Rose, I. V. L. W., Das, M. K., and Taliaferro, C. M. 2008.** A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica* 164: 19–25.
- Samonte, S. O. P. B., Wilson, L. T., McClung, A. M., and Medley, J. C. 2005.** Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science* 45: 2414–2424.
- Yan, W. 2001.** GGE biplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal* 93: 1111–1118.
- Yan, W. 2002.** Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal* 94: 990–996.
- Yan, W., Cornelius, P. L., Crossa, J., and Hunt, L. A. 2001.** Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science* 41: 656–663.
- Yan, W., and Hunt, L. A., 2001.** Interpretation of genotype  $\times$  environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science* 41: 19-25.
- Yan, W., and Hunt, L. A. 2002.** Biplot analysis of diallel data. *Crop Science* 42: 21–30.
- Yan, W., Hunt, L. A. Sheng Q., and Szlavnic, Z. 2000.** Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597–605.
- Yan, W., and Kang, M. S. 2003.** *GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists.* CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Yan, W., and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11–20.
- Yan, W., and Tinker, N. A. 2006.** Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623–645.